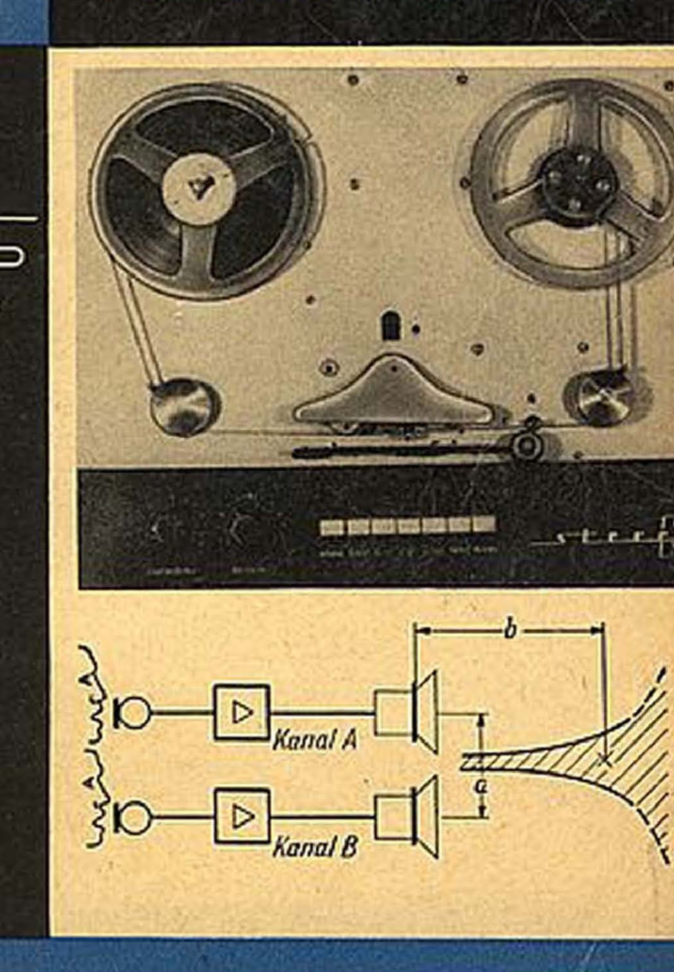
38

DER PRAKTISCHE FUNKAMATEUR



Hagen Jakubaschk

Stereofonie für den Amateur

Der praktische Funkamateur · Band 38
Stereofonie für den Amateur

Hagen Jakubaschk

Stereofonie für den Amateur



Deutscher Militärverlag

Redaktionsschluß: 5. April 1963

1.—10. Tausend
Deutscher Militärverlag, Berlin 1963
Lizenz-Nr. 5
Zeichnungen: Brigitta Westphal
Lektor: Wolfgang Stammler
Vorauskorrektor: Ingrid Elsner, Korrektor: Evelyn Lemke
Hersteller: Jürgen Hecht
Gesamtherstellung: (204) VEB Graphische Werkstätten Berlin,
Werk I 10 4335
EVP: 1,90 DM

Inhaltsverzeichnis

Einleitung

„Stereo“ — dieses Schlagwort ist in letzter Zeit selbst in Laienkreisen weitgehend zu einem Begriff geworden. Was es beispielsweise mit der stereofonischen Wiedergabe von Musik auf sich hat, wird im allgemeinen bekannt sein, so daß wir hier das Grundwissen voraussetzen und uns auf die technischen Grundlagen beschränken können. Diskussionen über künstlerische Probleme — die inzwischen einen mindestens ebenso breiten Raum einnehmen wie die rein technische Seite — liegen verständlicherweise außerhalb des hier gegebenen Rahmens. Weniger bekannt dagegen dürfte es in Amateurkreisen sein, daß die Stereofonie durchaus nicht nur ein technisches Mittel für den Musikfreund und Schallplattenliebhaber ist: Sie stellt vielmehr einen in jeder Beziehung echten elektroakustischen Fortschritt dar, und zwar im Sinne einer Bereicherung der bisher in der Elektroakustik vorhandenen Möglichkeiten. Für den an der Elektroakustik und allgemein an der NF-Technik interessierten Amateur eröffnet sich hier ein weitreichendes Experimentierfeld, ganz besonders aber für den Tonbandamateur, der die Möglichkeit zu eigenen Tonaufnahmen hat. In der praktischen Anwendung gibt es noch viel Neuland zu erschließen. Deshalb soll sich dieses Büchlein keineswegs nur auf die mit dem Abspielen von Stereo-Schallplatten zusammenhängenden Probleme beschränken. Es will dem bereits erfahrenen Tonbandamateur und NF-Bastler neben einem Überblick über die technischen Probleme und für ihn realisierbaren Möglichkeiten zahlreiche aufnahme- und gerätetechnische Hinweise geben.
Die Stereofonie ist ein Sondergebiet der Elektroakustik, auf dem noch vieles zu erwarten ist, sowohl in technischer Hinsicht als auch im Hinblick auf die Grundlagenforschung und die Anwendungsmöglichkeiten. Deshalb kann und will dieses Büchlein auch nirgends Endgültiges bieten. Andererseits ist das Gebiet der Stereofonie schon jetzt so umfangreich, daß in diesem

Rahmen kein umfassender Überblick erwartet werden kann. Wir konzentrieren uns daher im folgenden auf das für die Amateurpraxis Wesentliche und gehen auf die Theorie nur soweit ein, wie es für das Verständnis erforderlich ist. Gerade die stereofonische Wiedergabe hängt wie nur wenige andere technische Gebiete sehr weitgehend ab vom subjektiven Empfinden des Hörers, so daß es nicht verwundert, wenn in der Grundlagenforschung auf diesem Gebiet neben den Akustikern auch Physiologen und Psychologen ein gewichtiges Wort mitzureden haben. In der Praxis zeigt sich dieser subjektiv bedingte Eindruck, indem zwischen theoretischer Erwartung und praktischem Ergebnis – dem Höreindruck – oft Widersprüche auftreten, die längst nicht alle geklärt sind. Wir halten uns in diesen Fällen ausschließlich an die Praxis, denn dieses Büchlein soll kein Lehrbuch sein. In ihm findet der Leser neben einem Überblick über die Vielseitigkeit der Stereotechnik die Summe der praktischen Erfahrungen des Verfassers. Erstmalig werden dem Amateur außerdem auch einige nur scheinbar am Rande liegende Geräte, wie Stereo-Trickmischer und ähnliches, in einer für ihn anwendbaren Form vorgestellt sowie Variationsmöglichkeiten beschrieben, die ihm besonders interessante Möglichkeiten eröffnen.
Vorauszusetzen sind bei der Behandlung eines solchen Sondergebiets *naturgemäß die Grundkenntnisse* des „Rahmen"-Fachgebiets, hier also der NF-Technik und Elektroakustik. Für den neu beginnenden Tonbandamateur zum Beispiel wäre es verfehlt, sogleich mit der Stereo-Tonbandtechnik beginnen zu wollen. Andererseits ist natürlich eine Behandlung allgemeiner Grundlagen in diesem Büchlein ebensowenig möglich wie die Behandlung eines Sondergebiets in der allgemeinen Grundlagenliteratur. Für Einzelfragen, die in das Gebiet der allgemeinen Grundlagen – hier also der monauralen Elektroakustik, Verstärker- und Tonbandtechnik und so weiter – fallen, muß daher auf die einschlägige Literatur, insbesondere auf die bereits in dieser Reihe erschienenen Hefte verwiesen werden. Besonders zu empfehlen sind die folgenden Titel, auf denen das vorliegende Büchlein aufbaut:
Heft 2 (Jakubaschk, Tonbandgeräte selbstgebaut),

Heft 4 (Jakubaschk, Tonband-Aufnahmepraxis), Heft 25 (Streng, Niederfrequenzverstärker), Heft 30 (Streng, NF-Verstärker-Meßtechnik) sowie für den meßtechnisch exakt arbeitenden, fortgeschrittenen Amateur Heft 18 (Jakubaschk, Meßplatz des Amateurs). Bei den Gerätebeschreibungen wurde zugunsten der Materialfülle auf letzte Ausführlichkeit verzichtet. Jedoch sind alle die Einzelheiten genannt, die der ein wenig erfahrene Amateur zum Nachbau benötigt. Darüber hinausgehende Details sind in den genannten Heften bereits niedergelegt. Weitere Literaturhinweise zu speziellen Fragen werden im Text gegeben. Ein Literaturverzeichnis mit Quellenangaben, die ein tieferes Einarbeiten in alle Probleme der Stereofonie ermöglichen, ist am Schluß des Büchleins zu finden.
Mit diesem Heft ist auch dem Amateur die Möglichkeit zum Eindringen in dieses weit über die Sphäre des Musikliebhabers hinausreichende, immer mehr an Bedeutung gewinnende Fachgebiet gegeben.

Brandenburg, im Frühjahr 1963 Hagen Jakubaschk

A. Grundlagen der Stereofonie

1. Prinzipielles

Bekanntlich ist es beim Anhören einer Schallquelle möglich, festzustellen, in welcher Richtung – vom Hörer aus gesehen – sie sich befindet. Bei einem Orchester kann zum Beispiel auch mit geschlossenen Augen herausgehört werden, daß sich die Streichergruppe rechts, Klavier und Schlagzeug links befinden. Bei einer normalen Schallübertragung (etwa im Radio) ist das aber nicht mehr möglich. Die stereofonische Schallübertragung versucht nun, den Richtungseffekt mit zu übertragen und daher den tatsächlichen akustischen Verhältnissen, wie sie am Ort der Schallquelle bestehen, auch in der Wiedergabe möglichst nahezukommen.
Maßgebend für das Vermögen, die Einfallsrichtung einer Schallschwingung feststellen zu können, ist die Tatsache, daß der Mensch über zwei Ohren verfügt. Diese zunächst recht einfach klingende Feststellung hat jedoch, wie eingehende Untersuchungen zeigten, ihre Tücken. Wir werden darauf noch zurückkommen, wollen aber zunächst von dieser stark vereinfachten Vorstellung ausgehen.
Betrachten wir zur Veranschaulichung des Prinzips der Stereoübertragung Bild 1. Zunächst sei angenommen, daß nur das Mikrofon M 1 mit Verstärkeranlage V 1 und Lautsprecher L 1 vorhanden ist. Wir haben es

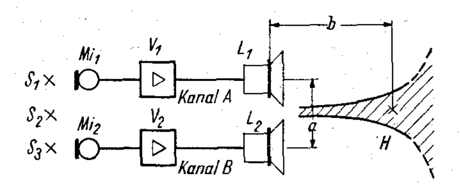


Bild 1 Grundprinzip der stereofonischen Übertragung. S 1 ... 3: Schallquellen; M 1, M 2: Mikrofone; V 1, V 2: Verstärker; L 1, L 2: Lautsprecher; H: Hörer. Schraffiert: Hörfläche für besten Stereoeindruck (siehe im Text). Abstand b soll gleich Abstand a sein

dann mit einer gewohnten Schallübertragung zu tun, mit einem üblichen NF-Übertragungs-„Kanal“ (A in Bild 1). Zwischen dem Aufnahmeraum mit Mikrofon M 1 und den Schallquellen S 1 bis 3 und dem Wiedergaberaum mit der abhörenden Person, dem Hörer H — die natürlich getrennt sind — kann sich ein Kabelweg, ein Rundfunksender mit Empfänger oder ähnliches befinden. Die technische Ausführung des Übertragungskanals ist hier zunächst ohne Bedeutung.
Wie erkennbar, steht Schallquelle S 3 — zum Beispiel ein Sprecher — weiter vom Mikrofon entfernt als S 1, in der Wiedergabe wird S 3 daher leiser hörbar sein als S 1. Daraus kann der Hörer H zwar schließen, daß S 3 weiter von M 1 entfernt ist als S 1, jedoch nicht, in welcher Richtung (S 3 könnte im Bild 1 ebenso auch weiter links oder oberhalb von S 1 stehen). Um die Richtung feststellen zu können, ordnen wir jetzt im gleichen Aufnahmeraum noch ein zweites Mikrofon M 2 an, das in einigen Metern Abstand von M 1 stehen möge. Es ist über einen völlig vom Kanal A getrennten zweiten Übertragungsweg (Kanal B mit eigenem Verstärker V 2 und Lautsprecher L 2) mit dem Wiedergaberaum verbunden. Dort ist Lautsprecher L 2 demgemäß in einigem Abstand von L 1 angeordnet.
Sprecher S 1 steht nun näher an M 1, wird daher über L 1 lauter als über L 2 zu hören sein. Scheinbar ertönt sein Schall also hauptsächlich aus L 1. Für S 3 liegen die Verhältnisse gerade umgekehrt, S 3 wird über L 2 lauter hörbar sein als über M 1 und L 1. Der Hörer H kann daher genau feststellen, ob sich der Sprecher im Punkt S 1 oder S 3 befindet. Steht er bei S 2 — in der Mitte, mit gleichem Abstand zu beiden Mikrofonen —, so wird er aus beiden Lautsprechern gleich laut hörbar. Ein Wandern des Sprechers von S 1 nach S 3 kann daher vom Hörer H richtungsmäßig gut verfolgt werden, das Schallfeld im Wiedergaberaum „wandert scheinbar mit“. Dies ist bereits das ganze Grundprinzip der stereofonischen Übertragung.
Es sei schon hier erwähnt, daß diese Erklärung stark vereinfacht ist, theoretisch sind die Zusammenhänge weit komplizierter, ihre Behandlung führt weit über den Rahmen dieses Büchleins hinaus. Bekannt sind unter anderem auch verschiedene stereofonische Über-

tragungsverfahren. Neben der „seitenbezogenen“ Stereofonie — der etwa das in Bild 1 erläuterte Prinzip entspricht — sind noch andere Verfahren (phasenbezogene bzw. kopfbezogene Stereofonie, M 1 und M 2 sitzen dann als „Ohren“ an beiden Seiten eines „künstlichen Kopfes“, raumbezogene Stereofonie unter Ausnutzung des reflektierten Schallfeldes usw.) bekannt, die uns hier jedoch nicht näher beschäftigen sollen, da sie für Amateurzwecke vorläufig noch ausscheiden. Die Grundlagenforschung ist gerade hier noch sehr im Fluß. Im übrigen haben sämtliche Verfahren gemeinsam, daß für die Übertragung der NF-„Information“ zwei völlig getrennte Kanäle erforderlich sind, auch ist die Wiedergabeseite — zumindest soweit sie den Amateur interessiert — bei allen Verfahren gleich.
Wie erkennbar, erfordert das Stereoverfahren für die Übertragung im Prinzip den doppelten Aufwand, zumindest aber auf der Aufnahme- und Wiedergabeseite, während für den Übertragungsweg technische Verfahren denkbar sind, beide NF-Kanäle auf einen Übertragungsweg zu vereinen. Es muß natürlich dafür gesorgt sein, daß sie sich nicht gegenseitig beeinflussen und am Wiedergabeort wieder einwandfrei getrennt werden können. Hierzu erfahren wir unter Abschnitt A 3. und A 4. noch Näheres. Aus Bild 1 ist außerdem zu erkennen, daß jedem Mikrofon der richtige Lautsprecher zugeordnet sein muß, der — vom Hörer H aus gesehen — rechte Lautsprecher L 1 gehört zum „Rechtskanal“ A und Mikrofon M 1. Beide Kanäle darf man also nicht wahllos miteinander vertauschen.
Einige Worte sollen jedoch noch zur Theorie des Richtungshörens gesagt werden. Vorweggenommen sei, daß hier zur Zeit noch keine endgültige wissenschaftliche Klarheit besteht, so daß es für uns auch sinnlos ist, eine exakte Erklärung für das Richtungshören geben zu wollen. Tatsächlich überdecken sich hier viele Einflüsse, die im Hörempfinden des Menschen zusammenwirken, wobei nach neueren Erkenntnissen auch das „intelligente Hören“, die unbewußte Auswertung aufgenommener Schalleindrücke auf Grund vorangegangener Erfahrungen, Vergleiche und so weiter eine maßgebliche Rolle spielt. Hieraus erklärt es sich übrigens auch, daß selbst dann noch ein gehörmäßig recht guter

Stereoeindruck entsteht, wenn das auf Grund akustischer oder technischer Mängel der Übertragung, des Wiedergaberaumes und so weiter theoretisch nicht mehr der Fall sein könnte. Letzteres wäre angesichts der sehr strengen Forderungen, die nach der Theorie an stereofonische Übertragungen zu stellen wären — hierzu ist im nächsten Abschnitt einiges gesagt —, recht häufig der Fall. Wir erwähnen das deshalb, weil sich daraus die praktische Schlußfolgerung ergibt, daß gerade in der Stereotechnik technische und praktische Einzelfragen sehr weitgehend von der Praxis her entschieden werden müssen.
Der Hörvorgang im menschlichen Ohr ist noch weitgehend ungeklärt, eine Analogie zwischen Ohrmechanismus und beispielsweise einem Mikrofon ist jedoch nach dem bisher Bekannten völlig ausgeschlossen. Zur Begründung des Richtungshörens wird oft die Tatsache der Laufzeitdifferenzen als alleinige Ursache angeführt. Der Grundgedanke ist, daß ein von vorn kommender Schwingungszug beide Ohren gleichzeitig erreicht. Ein seitlich eintreffender Schwingungszug erreicht das eine Ohr etwas früher als das andere, woraus zwischen den Schwingungen beider Trommelfelle eine Phasendifferenz resultiert, aus der das Ohr angeblich die Richtung ableiten kann. Dieser Effekt hat zwar bei höheren Tonfrequenzen eine gewisse Bedeutung, genügt aber keinesfalls zur alleinigen Erklärung des Richtungshörens. Das läßt sich leicht zeigen. Die Schallgeschwindigkeit in Luft sei hier abgerundet mit 300 m/s angenommen. Hieraus ergibt sich die Wellenlänge eines Tones mit 1 kHz zu rund 30 cm, die eines 3-kHz-Tones zu 10 cm. Ein genau von vorn gehörter 3-kHz-Ton erreicht beide Ohren zu gleicher Zeit. Bei seitlichem Eintreffen des Tones liegt ein Ohr um wenige Zentimeter näher zur Schallquelle als das andere. Wenn wir den Ohrabstand zu rund 20 cm annehmen, läßt sich jetzt ein Seitenwinkel finden, bei dem diese Wegdifferenz wieder genau 10 cm und damit eine volle Schwingung beträgt, das heißt, der Schall erreicht beide Ohren gleichphasig und müßte dieser Theorie nach als von vorn kommend empfunden werden, was jedoch nicht der Fall ist. Das Argument, das Ohr leite aus dem Schwingungsbeginn die Richtung ab, wird dadurch

widerlegt, weil man auch einen langsam von der Hörbarkeitsgrenze aus gesteigerten Dauerton — bei dem das Ohr keinen definierten „ersten" Schwingungszug registrieren kann — einwandfrei ortet. Auch Lautstärkedifferenzen scheiden aus, denn die wenigsten Menschen hören auf beiden Ohren gleich gut. Meist sind sowohl die Hörgrenzen als auch die „Grenzfrequenzen" (höchste noch hörbare Schwingungszahl) beider Ohren unterschiedlich. Für höhere Frequenzen als 3 kHz lassen sich dann sogar je Seite mehrere Winkel für Phasengleichheit an beiden Ohren finden. Bei sehr tiefen Frequenzen dagegen (etwa unter 300 Hz) sind die Phasenunterschiede so gering (große Wellenlängen!), daß sie ebenfalls nicht ins Gewicht fallen können. Das wird übrigens oft als Begründung dafür angeführt, daß Frequenzen unter 300 Hz angeblich nicht mehr richtungsmäßig zu orten seien (das Gegenteil läßt sich leicht prüfen, beziehungsweise man denke an fernes Gewittergrollen) und ihre seitenrichtige Übertragung in Stereoanlagen also nicht erforderlich sei. Es gab in der Vergangenheit daher Lösungen für Stereo-Wiedergabeanlagen, die diese tiefen Frequenzen über einen beiden Kanälen gemeinsamen Mittenlautsprecher abstrahlten, ein Weg, der technisch unbedingt abzulehnen ist.
Tatsächlich sprechen Laufzeitdifferenzen beim Richtungshören höherer Frequenzen mit, jedoch nicht als alleinige Faktoren. Es kommen noch Schallfeldbrechungen am Kopf sowie zahlreiche andere sekundäre Einflüsse hinzu, die in ihrer Gesamtheit noch nicht einwandfrei geklärt sind. Fest steht bisher aber, daß das Richtungshören bei tieferen Frequenzen auf anderen Mechanismen beruht als bei höheren, und daß dieses Problem keinesfalls raumakustisch, sondern nur im Zusammenhang mit der Physiologie des menschlichen Ohres und der Psychologie des Hörens betrachtet werden kann.
Für den Amateur sind diese Zusammenhänge unwesentlich, sie wurden aber erwähnt, da gerade hierüber noch sehr viele falsche Vorstellungen existieren, die sehr leicht in der Praxis zu Trugschlüssen bei der Technik und der Anwendung der Stereogeräte führen können. Deshalb wurde hier kurz darauf eingegangen. Für die

nähere Beschäftigung mit diesem sehr interessanten Problem sei auf die im Anhang gegebenen Literaturhinweise verwiesen. Interessehalber sei hier das Wesentlichste eines im Rahmen derartiger Untersuchungen 1955 von Philips in Eindhoven durchgeführten Versuches erwähnt: In einem akustisch einwandfreien Saal mit 300 Versuchspersonen wurden hinter einem dünnen Vorhang kurze Musikstücke einmal von Musikern, dann wieder die gleichen Stücke von Tonband über eine Stereoanlage abgespielt. Die Testpersonen hatten den Auftrag, zu ermitteln, ob jeweils die (unsichtbaren) Musiker spielten oder die Aufzeichnung zu hören war. Die Wahrscheinlichkeit für richtige Unterscheidung lag bei 0,5, das heißt, eine sichere Unterscheidung von Original oder Aufzeichnung war nicht möglich! Dieses verblüffende Ergebnis ist nicht unbedingt der Stereotechnik zuzuschreiben. Jedoch zeigte ein zweiter Versuch: Ein Instrumental-Quartett spielte sichtbar, wobei jeweils an einer — dem Publikum unbekannten — Stelle ein Musiker nur noch Scheinbewegungen ausführte und das betreffende Instrument durch eine Tonbandaufnahme ersetzt wurde. Man sollte feststellen, welches Instrument das Band wiedergab. Von den anwesenden 130 Personen urteilten nur drei in allen Fällen richtig. Beim Kontrabaß zum Beispiel hielten 61 Personen den Baß für die Reproduktion, 89 die Reproduktion für das Originalinstrument, nur 18 urteilten richtig. Ähnlich sah es bei anderen Instrumenten aus: 27 Personen hielten das Piano für Reproduktion, 47 dagegen die Reproduktion für das Piano und so weiter, wobei kein wesentlicher Unterschied zwischen Technikern und Nichttechnikern unter den Hörern bestand. Interessant ist, daß bei diesem Versuch die Bandaufnahmen über eine normale monaurale Anlage abgespielt wurden.
Betrachten wir jedoch noch einmal Bild 1. Aus dieser Skizze lassen sich, wobei wir die theoretische Begründung übergehen wollen, einige wichtige Schlußfolgerungen ableiten. Zunächst ist einzusehen, daß der Hörer H im Wiedergaberaum nicht an beliebiger Stelle sitzen kann. Säße er beispielsweise dicht am Lautsprecher L 1, so würde er diesen selbst dann lauter hören, wenn der Sprecher bei S 2 steht und beide Lautsprecher demzufolge gleich laut sind. Das Ergebnis ist ein fal-

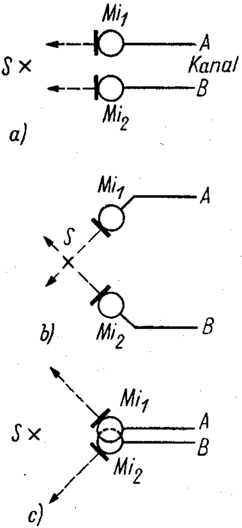
scher Richtungseindruck. Ähnliches kommt zustande, wenn der Hörer zwar auf der Mittellinie zwischen beiden Lautsprechern, aber zu nahe sitzt (der Mitteneindruck ginge dann verloren) oder aber zu weit absitzt (die Lautsprecher erscheinen dem Hörer dann unter zu geringem Winkel, womit der Seiteneindruck weitgehend verwischt würde). Es gibt daher eine bestimmte Zone, in der sich der Hörer befinden muß, um den besten Höreindruck zu haben. Diese „Hörfläche" ist in Bild 1 schraffiert angedeutet und, wie man erkennen kann, leider sehr schmal. Innerhalb dieser Hörzone soll der Hörer H einen bestimmten Abstand von den Lautsprechern haben. Wir lernen hier einige wichtige Begriffe der Stereotechnik kennen: Der Abstand beider Lautsprecher (und bei der Mikrofonanordnung nach Bild 1 auch der der Mikrofone) wird „Basisbreite" genannt. Diese Basisbreite muß wiedergabeseitig jedoch nicht mit der der Aufnahmeseite übereinstimmen. Der Hörer sitzt am günstigsten auf der Mittellinie zwischen beiden Lautsprechern, wobei der Hörabstand b in Bild 1 gleich der Basisbreite a sein soll. Diese Grundregel sollte für die stereofonische Heimwiedergabe unbedingt beibehalten werden. Und da wir gerade bei Begriffsklärungen sind: Für das in Bild 1 skizzierte Übertragungsverfahren mit zwei getrennten Mikrofonen hat sich die Bezeichnung „A-B-Verfahren" (entsprechend den Kanälen A und B) eingebürgert. Wir werden die Kanalbezeichnungen A und B in unserem Büchlein weitgehend beibehalten.
Daß eine normale einkanalige Übertragung als „monaural" oder „Monoübertragung" bezeichnet wird, im Gegensatz zum hier behandelten Zweikanal-Übertragungsverfahren („Stereoübertragung"), ist wohl inzwischen allgemein bekannt.

2. Technische Bedingungen der Zweikanalübertragung

Wie sich aus dem zum Prinzip der Stereoübertragung und dem Richtungshören Gesagten ergibt, sind an die Übertragungsqualität beider Kanäle sehr strenge, zum Teil neuartige Forderungen zu stellen. Sie laufen alle

auf eine Grundregel hinaus: Beide Kanäle müssen vom Mikrofon bis zum Lautsprecher elektrisch vollständig gleiche Eigenschaften haben. Neben gleicher Verstärkung in beiden Kanälen (sie ist erforderlich, weil z. B. bei geringer verstärkendem V 1 der Lautsprecher L 1 leiser wird, was ein scheinbares Wandern der Schallquelle in Richtung auf L 2 ergäbe) müssen sie völlig gleichen Frequenzgang und auch gleichen Phasengang haben. Bereits gering unterschiedliche Phasenlaufzeiten beider Kanäle führen dazu, daß zum Beispiel eine von S 2 (Bild 1) kommende, beide Mikrofone gleichphasig treffende Schallwelle nicht mehr gleichphasig von L 1 und L 2 abgestrahlt wird. Das kann ebenfalls Verfälschungen des Richtungseindrucks ergeben, da die Phasenlage der das Ohr erreichenden Tonschwingung ebenfalls zur Ortung beiträgt, wie bereits erklärt wurde. Stereo-NF-Anlagen zeichnen sich deshalb durch sehr reichliche Dimensionierungen, meist streng symmetrischen Aufbau für beide Kanäle und durch teilweise vom Üblichen abweichende Schaltungstechnik aus. Dies betrifft vor allem Klangregelungen und frequenzabhängige Gegenkopplungen, letztere sollten in Stereoverstärkern ganz vermieden werden, da sie stets schwer zu beherrschende Phasenfehler einbringen. Bei Klangreglern ist zu berücksichtigen, daß jede Frequenzgangänderung gleichzeitig eine Änderung im Phasengang bedeutet, weshalb die Klangregelung in beiden Kanälen genau übereinstimmend erfolgen muß. Für wirkliche Stereoanlagen sind ungleich aufgebaute NF-Verstärker oder verschiedene Teile für beide Kanäle abzulehnen. Man kann also nicht einen vorhandenen Mono-NF-Verstärker durch das Danebenstellen eines beliebigen zweiten Verstärkers zu einem Stereoverstärker kombinieren! Ebenso müssen gleiche Mikrofone, gleiche Lautsprecher in gleichen Gehäusen und so weiter benutzt werden. Der im Ausland vielfach angebotene „Stereo-Zusatz-Verstärker" — ein Monoverstärker, der, zum NF-Teil eines normalen Radios hinzugefügt, dort den zweiten Kanal stellt und das Gerät zu einem „Stereogerät" umwandeln soll — ist daher ebenso problematisch und bestenfalls eine Notlösung wie das empfohlene Verwenden von zwei Mono-Rundfunkgeräten beispielsweise zum Abhören der im Ausland gelegentlich über zwei

Bild 2
Verschiedene Aufstellungsmöglichkeiten von Stereomikrofonen in bezug auf die Schallquelle S. Erklärung im Text



Sender durchgeführten Stereoversuchssendungen. Auf derartige technische Kompromißlösungen, Zusatzverstärker und so weiter, wird daher nicht näher eingegangen.

Betrachten wir nun die Aufnahmeseite etwas näher. Bild 2a zeigt nochmals die Mikrofonanordnung aus Bild 1, zwei räumlich getrennte Einzelmikrofone gleicher Art, deren Abstand (Basislänge) je nach Anwendung (Art und Abstand der Schallquelle, Extremfälle z. B. Einzelsprecher und großes Orchester) bei 0,5 bis 6 m liegen kann. Zu große Basisbreiten rufen jedoch an Stelle eines Stereoeindrucks eine reine Echowirkung beider Kanäle hervor. Die Ausgänge der Mikrofone M 1 und M 2 ergeben die Kanäle A und B. Die Mikrofone können hier entweder kugelcharakteristisch sein (Empfindlichkeit von allen Seiten gleich groß) oder Nieren- beziehungsweise Achtercharakteristik, also Richtwirkung, haben (Näheres dazu in Abschnitt B 1.1. und im Heft 4 „Tonband-Aufnahmepraxis“ dieser Reihe). Im letzteren Fall – die Anwendung von Richtmikrofonen hat in der Stereotechnik besondere Bedeutung – werden die Mikrofonfronten („Vorderseite“, Richtung größ-

ter Empfindlichkeit) im allgemeinen geradeaus gerichtet, wie Bild 2 a zeigt (Pfeile). Sind sie dagegen so ausgerichtet, wie Bild 2 b andeutet — beide Mikrofone zeigen auf die Schallquelle beziehungsweise bei ausgedehnteren Objekten auf deren Mittelpunkt —, dann wird damit, wie sich aus dem Übertragungsprinzip leicht schlußfolgern läßt, der Seiteneindruck in der Wiedergabe merklich verschlechtert, jedoch ein besserer Mitteneindruck erzielt. Diese Anordnung hat nur für Sonderfälle Bedeutung und ist im allgemeinen unzweckmäßig. Eine sehr interessante Mikrofonanordnung ergibt sich jedoch bei Verwendung von Richtmikrofonen, in der Praxis werden dafür solche mit Nierencharakteristik (kurz: Nierenmikrofone) benutzt. Man ordnet dann beide Mikrofone nicht getrennt, sondern unmittelbar übereinander auf einem Stativ an (bzw. kombiniert sie sogar in einem gemeinsamen Gehäuse als „Stereomikrofon") und richtet die Achsen beider Mikrofone, wie Bild 2 c zeigt, um einen gewissen Winkel (meist 60 bis 90 °) auseinander. Innerhalb dieses Winkels liegt dann der Aufnahmebereich, in dem sich die Schallquelle S bewegen kann. Wandert sie analog Bild 2 c zum Beispiel nach oben, so kommt sie vorwiegend in den Empfindlichkeitsbereich von M 1, nach unten wandernd in den Bereich von M 2. Die Wirkung ist daher die gleiche wie bei der „seitenbezogenen" Anordnung nach Bild 2 a. Der Vorteil ist offensichtlich: Man kann dann mit einem Mikrofonstativ in gewohnter Form arbeiten und umgeht gleichzeitig die Gefahr, daß an den verschiedenen Aufstellungsorten für Mikrofone nach Bild 2 a verschiedene akustische Verhältnisse herrschen (Wandreflexionen!), die das Schallfeld verfälschen könnten. Diese Anordnung wird daher im Studiobetrieb ausschließlich benutzt, von Sonderfällen abgesehen.
Wir haben es hier mit einer akustisch anderen Form der Stereofonie zu tun. Während wir bisher nur die seitenbezogene Stereofonie betrachteten, handelt es sich hier um die sogenannte „Intensitäts-Stereofonie". Die an beide Kanäle abgegebenen Signale sind elektrisch denen des seitenbezogenen A-B-Verfahrens jedoch gleichwertig, für den weiteren Übertragungsweg besteht daher kein Unterschied mehr. Wir haben deshalb

in Bild 2 c auch die Mikrofonausgänge wiederum mit A und B gekennzeichnet, um im Rahmen unseres Buches einheitliche Bezeichnungen verwenden zu können. Der Studiotechniker kennzeichnet die Kanäle bei der Intensitäts-Stereofonie zur Unterscheidung des Aufnahmeverfahrens mit X und Y. Die „X-Y-Stereofonie" entspricht also — bis auf die Mikrofonanordnung — elektrisch völlig der „A-B-Stereofonie", ist aber akustisch günstiger. Für den Amateur ergeben sich allerdings Schwierigkeiten, weil sie Mikrofone mit ausreichend guter Richtcharakteristik erfordert. Näheres darüber erfahren wir im Abschnitt B 1.1.
Die Studiotechnik geht hier jedoch noch einen Schritt weiter. Im Hinblick auf die in absehbarer Zeit zu erwartende stereofonische Rundfunkübertragung — die notwendige Studiotechnik hat bereits einen hohen Stand erreicht, die Problematik liegt hier vorwiegend noch auf der Übertragungsseite — ist zu fordern, daß aus einer Stereoaufnahme ein vollwertiges monaurales Signal abgeleitet werden kann, um zum Beispiel eine Stereosendung auch mit den vorhandenen normalen Monoempfängern abzuhören. Offensichtlich genügt es dabei nicht, nur einen der Kanäle A oder B zu empfangen, denn beide ergeben für sich natürlich nur ein unvollständiges Klangbild. Die Lösung besteht nach Bild 1 zunächst darin, beide Kanäle einfach parallelzuschalten und über gemeinsamen Lautsprecher abzuhören. Trotzdem würde das bedeuten, daß ein normaler Empfänger zunächst einmal beide Kanäle aufnehmen muß. Aus technischen Gründen, deren Erläuterung zu weit führt, geht man in diesem Falle anders vor. Bereits im Studio werden beide Kanalspannungen einmal elektrisch addiert (das Ergebnis entspricht der Parallelschaltung in unserem Beispiel), zum anderen elektrisch subtrahiert. Wir erhalten einmal das Summensignal beider Kanäle, das einem vollwertigen monauralen Signal entspricht (so als ob in Bild 2 c ein normales Kugelmikrofon an Stelle des Stereo-Kombinationsmikrofons stände), zum anderen das Differenzsignal. Das Summensignal wird dann als „M"-Signal bezeichnet (Mittensignal, leicht merkbar als „monaural-entsprechend"), das Differenzsignal als „S"-Signal (Seitensignal), es enthält die für den jeweiligen Seiteneffekt

charakteristischen Komponenten und ist für sich allein nicht verwertbar. Die Addition $A + B = M$ und die Subtraktion $A - B = S$ können elektrisch durchgeführt werden, wir haben es hiernach also mit einem M- und einem S-Kanal zu tun. Am Empfangsort werden dann bei Stereoempfängern wiederum beide Signale empfangen, während der herkömmliche normale Monoempfänger lediglich das M-Signal aufnimmt und wiedergibt. Der Stereoempfänger führt nun mit dem M- und dem S-Signal wiederum die gleiche Addition und Subtraktion durch: $M + S = A$, $M - S = B$. Durch diese nochmalige Addition und Subtraktion werden also, wie sich aus den algebraischen Rechenregeln ergibt, wieder die ursprünglichen Kanäle A und B zurückgewonnen und den zugehörigen Lautsprechern zugeleitet. Dieses etwas umständlich scheinende Verfahren hat nicht nur den Vorzug, daß einer der Kanäle ohne weiteres einen vollwertigen Monokanal darstellt (eine nach diesem System ausgestrahlte Rundfunksendung ist also mit beiden Empfängerarten vollwertig aufnehmbar, derartige Verfahren werden „kompatibel" genannt), sondern die Umwandlung in einen reinen „Tonkanal" M und einen ausschließlich für die Seitenbestimmung gültigen „Richtungskanal" S hat studiotechnisch noch weitere Vorteile, die in Sonderfällen auch für den Amateur nützlich sind. Wir werden diesen Dingen im Abschnitt C 5. bei der Behandlung einiger Stereo-Trickgeräte wiederbegegnen.
Normalerweise lohnt die Umwandlung des A-B-Signals in ein M-S-Signal für den Amateur nicht, da sowohl unsere Aufnahmegeräte das A-B-Signal liefern als auch der Stereo-Plattenspieler und auch das Stereo-Bandgerät, der Stereo-Wiedergabeverstärker und die Lautsprecher das A-B-Signal benötigen und die Verwendung als Mono-Signal sich für unsere Zwecke durch einfache Parallelschaltung des A- und B-Kanals verwirklichen läßt. Trotzdem muß hier noch ein sehr verbreitetes Verfahren erwähnt werden, bei dem die Umwandlung des A-B-Signals (bzw. bei der Anwendung von Stereomikrofonen nach Bild 2 c korrekt: des X-Y-Signals) nicht erst elektrisch hinter dem Mikrofon erfolgt, sondern bereits vom Mikrofon selbst vorgenommen wird. Es handelt sich dabei um ein typisches

Stereo-Kombinationsmikrofon, das unmittelbar ein M-S-Signal liefert. Es besteht aus der Kombination eines Kugelmikrofons und eines Achtermikrofons. Bild 3 a zeigt die Richtcharakteristik beider Mikrofonarten. Kurve 1 gibt die Richtcharakteristik des Kugelmikrofons an, das von allen Seiten gleich empfindlich ist. Eine auf dieses Mikrofon auftreffende Schallschwingung hat, unabhängig von der Einfallsrichtung, stets die gleiche Phasenlage und Stärke. Anders beim Achtermikrofon (Kurve 2). Seine Achse liegt quer zur Schallquelle (Bild 3 c zeigt die Aufstellung dieses Kombinationsmikrofons in bezug auf die Schallquelle, die Richtungen größter Empfindlichkeit beim Achtermikrofon liegen 90° seitlich zur Schallquelle S), so daß eine aus 0° einfallende Schallschwingung (Bild 3 a) auf die „Nullstelle" der Achtercharakteristik trifft und daher nicht aufgenommen wird. Vom Achtermikrofon wird der Richtungskanal S abgeleitet, vom Kugelmikrofon der Tonkanal M, so daß in unserem Beispiel (Schall

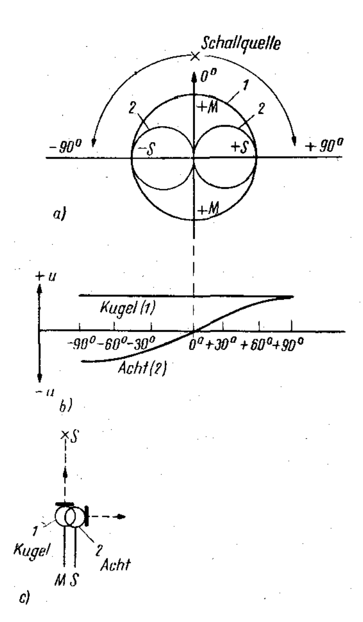



Bild 3
Zum Prinzip der akustischen Addition beider Seiteninformationen (M-S-Mikrofon). a: Richtcharakteristiken des Kugelmikrofons 1 und des Achtermikrofons 2; b: Spannungsverläufe an beiden Mikrofonen beim „Wandern" der Schallquelle; c: Praktische Anordnung des M-S-Mikrofons in bezug auf die Schallquelle. Erklärung im Text

von vorn) eine NF-Spannung wie erwünscht nur im M-Kanal auftritt. Weicht die Schalleinfallsrichtung seitlich ab, so gibt das Achtermikrofon eine zusätzliche Spannung ab, deren Größe vom Seitenwinkel abhängt und deren Polarität — bezogen auf die Polarität der vom Kugelmikrofon abgegebenen Spannung — von der Seite abhängt, nach der die Schallquelle auswandert. Höhe der Spannung und ihre Phasenlage in bezug auf die Phase des M-Kanals sind also charakteristisch für die Seitenabweichung, so daß auch das Richtungssignal S bereits „fertig" entnehmbar ist. Die so gewonnenen Signale M und S entsprechen elektrisch und akustisch vollständig denen, die man aus einer X-Y-Anordnung mit zwei Nieren- oder (selten angewandt) Achtermikrofonen gleicher Art (Bild 2 c) nach anschließender Summen- und Differenzbildung erhalten würde. Man spart damit diese elektrische Addition und Subtraktion, kann aber aus dem (Bild 3 c) erhaltenen M-S-Signal wiedergabeseitig durch die bereits erwähnte Addition M + S und Subtraktion M — S (was relativ einfach durchführbar ist) die zur Wiedergabe benötigten Signale A und B erhalten. — Bild 3 b gibt zur Verdeutlichung noch einmal die Spannungsverläufe beider Mikrofone bei einer „wandernden" Schallquelle an, wobei wieder konstanter Schallquellenabstand vom Mikrofon und konstanter Schallpegel angenommen sind. Dieses vorwiegend für die Studiotechnik bedeutsame Verfahren wird „M-S-Stereofonie" genannt und ist akustisch daher mit der X-Y-Stereofonie identisch, im Gegensatz zu dieser jedoch elektrisch kompatibel (d. h. auch monaural ohne zusätzliche Bearbeitung verwendbar).

3. Die stereofone Schallkonserve auf Schallplatte und Tonband

Bei der Schallaufzeichnung von Stereoaufnahmen handelt es sich darum, gleichzeitig zwei getrennte Signale (entsprechend den Kanälen A und B) so aufzuzeichnen, daß sie völlig starr miteinander gekoppelt sind. Die grundsätzliche Technik entspricht dabei dem Gewohnten. Stereo-Bandgerät und Stereo-Plattenspieler

arbeiten also nach den gleichen Funktionsgrundlagen wie die entsprechenden Monogeräte. Zum Tonband ist dabei an dieser Stelle nicht viel zu sagen. Es ist natürlich nicht möglich, beide Kanäle auf zwei getrennten Bandgeräten aufzuzeichnen, da ja beide zeitlich ganz genau synchron laufen müßten, um die Phasenlage zueinander konstant zu halten. Man benutzt dafür das Halbspurverfahren, wie es vom monauralen Tonbandgerät her bereits zur Doppelausnutzung des Tonbands bekannt ist. Jede der beiden Teilspuren zeichnet dabei einen Kanal auf. Erforderlich sind dafür spezielle Stereotonköpfe, die praktisch nur eine (allerdings nicht ganz einfach zu fertigende) Kombination zweier normaler Halbspurköpfe darstellen, deren Kopfspalten genau übereinander liegen. Äußerlich sieht ein solcher Stereotonkopf nicht anders aus als ein üblicher Tonkopf, jedoch müssen hier zwei Kopfkerne nebst zugehörigen Wicklungen auf engstem Raum übereinander angeordnet werden, ohne sich gegenseitig magnetisch zu beeinflussen (das würde eine „Vermischung“ beider Kanäle bedeuten!), was fertigungstechnisch schwierig ist. Moderne Stereotonköpfe erlauben jedoch bereits Aufnahmen mit einer allen Ansprüchen genügenden Qualität. Stereoköpfe gibt es analog der Mono-Halbspurtechnik als Aufnahme-Wiedergabeköpfe („Kombiköpfe“) sowie getrennt als Aufnahme- und Wiedergabekopf für größere Maschinen. Der Löschkopf ist fast immer ein normaler Vollspurkopf, da ja ohnehin beide Kanäle zugleich gelöscht werden müssen. So wie sich aus der Mono-Halbspurtechnik die Viertelspurtechnik entwickelte, wurden im Ausland auch bereits zahlreiche Ausführungen mit „Stereohalbspur“ bekannt, wobei jeweils von den aufgespielten vier Spuren die Spur 1 und 3 für eine Aufzeichnung, die Spur 2 und 4 — nach Wenden des Bandes wie bei Halbspurgeräten der Monotechnik — für die zweite Aufzeichnung benutzt werden. Diese weitgehende Bandspurunterteilung erlaubt trotz außergewöhnlich hoher Präzisionsforderungen (Spurbreiten nur noch etwa 1 mm!) nur mittlere Qualitäten, kommt daher nur für Heimzwecke in Betracht und ist technisch sehr umstritten. Für Amateure ist sie relativ uninteressant.

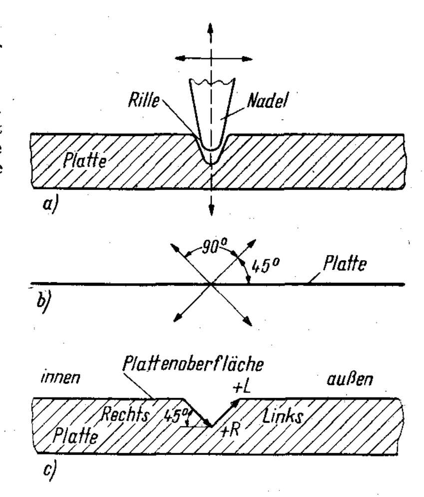
Normale Stereotonbänder behandelt man wie herkömmliche Monobänder, sie können ebenso geschnitten und weiterverarbeitet werden. Stereo-Tonbandgeräte müssen demgemäß je zwei Aufsprech- und Wiedergabeverstärker haben, der NF-Verstärkeraufwand gegenüber dem Monogerät verdoppelt sich also. HF-Generator und Netzteil sowie alle Antriebsteile entsprechen dagegen völlig denen des Monogeräts.

Üblich ist für Heimzwecke die Aufzeichnung des A-B-Signals, ebenso wie bei der Stereo-Schallplatte. Für Monowiedergabe können bei beiden Geräten dann die Ausgänge der Kanäle A und B einfach parallelgeschaltet werden, was wegen des identischen Aufbaus und der daraus resultierenden Gleichphasigkeit beider Wiedergabekanäle auf eine elektrische Addition hinausläuft, so daß dadurch praktisch ein monaural verwendbares M-Signal entsteht.

Die Spurlage bei Stereo-Tonbandgeräten ist international genormt und für den Eigenbau von Bedeutung. Bei dem üblichen Bandlauf im Gerät von links nach rechts liegt die Tonspur für den „Linkskanal" (den mit dem linken Lautsprecher verbundenen Kanal) — auf den Kopfspalt gesehen — oben.

Die Aufzeichnung des Stereosignals auf Schallplatten ist etwas komplizierter. Eine Aufzeichnung in zwei getrennten Rillen muß technisch und ökonomisch abgelehnt werden. Es besteht aber eine Möglichkeit, beide Kanäle in einer Rille aufzuzeichnen. Grundsätzlich gibt es zwei Möglichkeiten für eine normale Monoaufzeichnung: einmal die veraltete Tiefenschrift, bei der die Abtastnadel senkrechte Bewegungen ausführt; zum anderen die heute ausschließlich benutzte Seitenschrift, bei der die Nadel seitlich ausgelenkt wird. Man kann nun beide Verfahren kombinieren, wenn dazu entsprechende Aufzeichnungs- und Abtastsysteme benutzt werden, die eine getrennte Bewegungsmöglichkeit der Nadel in beiden Richtungen zulassen. Eine senkrechte Nadelbewegung bleibt ohne Einfluß auf das für die waagerechte Auslenkung „zuständige" Abtastsystem und umgekehrt. Damit bietet sich die Möglichkeit, einen Kanal in Tiefenschrift, den anderen in Seitenschrift aufzuzeichnen. Beim Tonabnehmer sind dann am Na-

Bild 4
Zum Prinzip der Stereoaufzeichnung bei Schallplatten. Erklärung im Text. c gibt schematisiert die genormte Lage beider Seitensignale in der Rille an



delhalter zwei Abtastsysteme (magnetische oder Kristallsysteme) vorhanden, von denen einer nur auf senkrechte, der andere nur auf waagerechte Nadelbewegungen anspricht. Damit sind beide Kanäle wiederum getrennt abtastbar.

Praktisch geht man hierbei etwas anders vor. Bild 4 a zeigt Rille und Nadelspitze im Schnitt. Beide haben zwangsläufig etwas konischen Verlauf, so daß eine einwandfreie Trennung von Horizontal- und Vertikalbewegung schwierig wäre. Man dreht nun die beiden zueinander um 90° versetzten Abtastebenen um 45°, wie Bild 4 b zeigt. Die Auslenkung für einen Kanal erfolgt jetzt von rechts oben nach links unten und umgekehrt, die für den anderen Kanal von links oben nach rechts unten und umgekehrt. Nunmehr ist also gewissermaßen jedem der beiden Rillenwände ein Kanal zugeordnet. Das hat mehrere Vorteile. Bild 4 c zeigt die Lage der Kanäle im vergrößerten und hier schematisch dargestellten Rillenquerschnitt. Die Zuordnung ist wieder international genormt: Die äußere Rillenwand entspricht dem linken, die innere dem rechten Kanal. Auch die Phasenlage ist in Bild 4 c angegeben: Gleichphasigkeit beider Ausgangsspannungen herrscht, wenn die Nadel für den Linkskanal nach oben, für den

Rechtskanal nach unten abgelenkt wird beziehungsweise umgekehrt. Auch diese Zuordnung hat einen bestimmten Grund.

Bekannt ist das sogenannte Plattenrumpeln, das durch unkontrollierte und unvermeidliche Vertikalbewegung der Nadel beim Abspielen entsteht. Wäre nun ein Kanal in reiner Tiefenschrift, der andere in reiner Seitenschrift aufgezeichnet, so käme dieses Rumpelgeräusch vollständig in nur einem Kanal zum Vorschein, was sehr störend wäre. Durch die 45°-Drehung der Aufzeichnungsebenen verteilt es sich jedoch gleichmäßig auf beide Kanäle und damit im Wiedergaberaum über die gesamte Basisbreite, womit eine störende örtliche Lokalisation dieses Geräuschs vermieden wird. Durch die in Bild 4 c gezeigte Phasenlage ist noch dafür gesorgt, daß dieses Störgeräusch in beiden Kanälen gegenphasig auftritt, was den gehörmäßigen Eindruck weiter vermindert. Bei ausgangsseitiger Zusammenstellung beider Kanäle — also bei Monowiedergabe — würde es dann sogar weitgehend ausgelöscht werden. In Analogie zu dem beim M-S-Verfahren Besprochenen zeigt sich, daß bei einer Umwandlung des vom Tonabnehmer gelieferten A-B-Signals in ein vollständiges M-S-Signal das Rumpelgeräusch nicht mehr im M-Kanal, dafür vollständig im S-Kanal auftreten würde.

Zu erwähnen bleibt noch die ebenfalls genormte Anschlußlage für die Anschlüsse an Stereo-Bandgerät und Stereo-Plattenspieler sowie den dafür vorgesehenen Eingängen an Stereoverstärkern und Rundfunkgeräten. Für den Anschluß werden ausschließlich die bekannten Diodenstecker und Steckdosen benutzt. Für Stereozwecke wurde dafür eine 5polige Diodenbuchse geschaffen (Bild 5). Alle weiteren Einzelheiten gehen aus Bild 5 hervor.

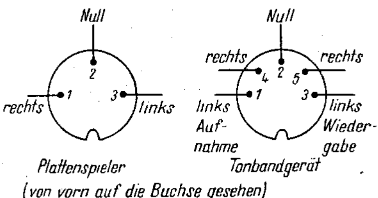


Bild 5
Genormte Anschlüsse der Diodenbuchsen für Stereo-Platte und Stereo-Tonbandgerät

4. Stereofonische Rundfunkübertragung

Der Vollständigkeit halber soll auch auf diesen Komplex kurz eingegangen werden, obwohl die allgemeine Einführung des Stereorundfunks erst in einigen Jahren zu erwarten ist. Einige grundsätzliche Bemerkungen dazu wurden bereits gemacht. Wir wollen deshalb zunächst feststellen, welche Anforderungen an ein stereofones Rundfunk-Übertragungssystem zu stellen sind. — Zunächst sei erwähnt, daß zur Zeit noch verschiedene der zahlreichen möglichen Verfahren in engerer Wahl geprüft werden und noch nicht endgültig feststeht, welches dieser Verfahren — auf alle einzugehen, ist hier platzmäßig auch nicht annähernd möglich — zum allgemeinen Einsatz kommen wird. Einen umfassenden Überblick hierüber gibt der Artikel von Gerd Grotelüschen in der Zeitschrift „radio und fernsehen", Heft 16 bis 18/1961, „Rundfunk-Übertragungsverfahren für Stereofonie". Dort sind auch zahlreiche weitere Quellenhinweise zu diesem Thema zu finden.

Es gibt demzufolge bis jetzt auch noch keine serienmäßig hergestellten Stereo-Rundfunkempfänger. Dagegen sind bereits jetzt zahlreiche Empfänger mit Stereo-NF-Teil ausgestattet, sie eignen sich daher zunächst zur Wiedergabe von Stereo-Schallplatten und können später verhältnismäßig leicht durch Nachfügen entsprechender Stereo-Empfangszusätze zu vollwertigen Stereo-Rundfunkempfängern ergänzt werden.

Mit Einführung des Stereo-Rundfunks dürfen die bisher üblichen Monoempfänger nicht wertlos werden, sondern mit ihnen muß sich das Stereoprogramm ohne jede Änderung monaural in üblicher Form empfangen lassen. Darum muß das Stereoprogramm so gesendet werden, daß herkömmliche Empfänger ohne weiteres automatisch bei der Demodulation der Hochfrequenz das M-Signal ergeben. Verfahren, die diese Bedingungen erfüllen, nennt man, wie bereits erwähnt, „kompatibel", nur sie kommen für den Stereo-Rundfunk in Betracht. Des weiteren ergibt sich die Forderung, daß das Stereoprogramm über einen einzigen Sender ausgestrahlt werden kann. Die technisch denkbare einfache Möglichkeit, über einen Sender das M-Signal, über

einen zweiten das S-Signal in normaler Form auszustrahlen, scheidet wegen der Notwendigkeit zweier Frequenzen für ein Programm und des doppelten empfängerseitigen Aufwands schon ökonomisch aus. Darüber hinaus muß ein Stereo-Sendeverfahren (für das wegen der Qualitätsansprüche in der Wiedergabe, die für die Stereowirkung ohnehin Voraussetzung sind, nur UKW-Sender in Frage kommen) mindestens die annähernd gleiche Wiedergabequalität — auch bei Monoempfang! — ergeben wie die bisher üblichen Monosendungen. Auch soll der empfängerseitige Mehraufwand für Stereoempfänger in vertretbaren Grenzen bleiben, ein Gesichtspunkt, der sich unmittelbar auf die Empfängerpreise auswirkt. Der senderseitige Aufwand ist demgegenüber weniger von Bedeutung.
Ein Verfahren, das alle diese Anforderungen bereits recht weitgehend erfüllt und daher zu den aussichtsreichsten zählt, ist das Puls-Amplituden-Modulationsverfahren (PAM-Verfahren), das auch in der DDR bereits im Versuchsbetrieb erprobt wurde.* Nähere Einzelheiten dieses Verfahrens finden wir ebenfalls in der genannten Veröffentlichung von Grotelüschen. Im folgenden soll stellvertretend für diesen Problemkomplex das PAM-Verfahren in seinen Grundzügen erläutert werden.
Das PAM-Verfahren gehört zur Klasse der Zeit-Multiplex-Verfahren, es werden also beide Kanäle zeitlich ineinandergeschachtelt. Die beiden Kanäle werden abwechselnd im Rhythmus mit einer Frequenz von 30 kHz abgetastet und dann einem normalen FM-Sender zugeführt. Bild 6 stellt das Prinzip des PAM-Verfahrens dar.
Für eine gute Übertragungsqualität verlangt man eine Frequenzgrenze bei 15 kHz. Die Abtastfrequenz muß doppelt so hoch sein, um in jeder NF-Periode mindestens zwei Abtastmomente zu erhalten. Wie Bild 6 zeigt, werden die beiden Stereokanäle einer Abtaststufe zugeführt, die im Rhythmus der 30-kHz-Steuer-

---

* Nach Redaktionsschluß wurde bekannt, daß ein anderes, mit Hilfsträger arbeitendes „FCC-Verfahren“, ebenfalls u. a. in der DDR bereits erprobt, im europäischen Raum größere Aussicht auf Normung hat. Das neuere „FCC-Verfahren“ ist bei etwa gleicher Qualität empfangsseitig noch einfacher, beruht aber auf einem anderen Prinzip.

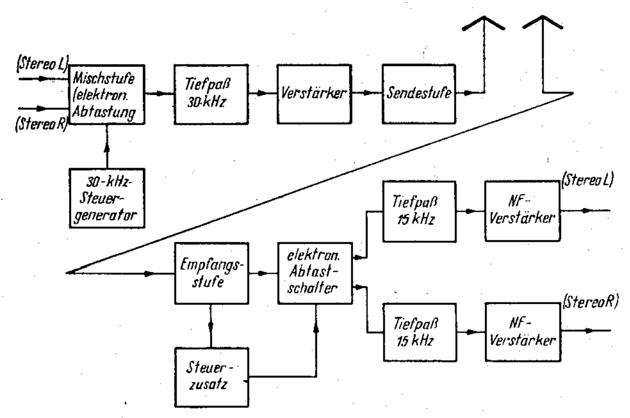


Bild 6 Blockschaltbild des PAM-Verfahrens als Beispiel für ein Rundfunk-Stereofonie-Verfahren. Erklärung im Text (nach Grotelüschen, Rundfunk-Übertragungsverfahren für Stereofonie)

frequenz periodisch vom einen auf den anderen Kanal umschaltet. Über ein Tiefpaßglied, das das entstehende breite Frequenzspektrum auf 30 kHz begrenzt, wird das entstandene Gesamtsignal über einen normalen Verstärker dem Sender zugeführt. Das Gesamtsignal enthält zu den einzelnen Abtastzeiten jeweils den Augenblickswert der NF-Amplitude des betreffenden Kanals. Gesendet werden hier also die Kanalinformationen A und B, die im 30-kHz-Rhythmus einander abwechseln.

Ein normaler Monoempfänger würde dieses Gesamtsignal normal demodulieren und die 30-kHz-Steuerfrequenz dabei unterdrücken, da sein NF-Übertragungsbereich nur bis etwa 15 kHz reicht. Am Ausgang seines Demodulators treten daher beide Kanäle in gleicher Phasenlage auf, addieren sich dementsprechend, so daß man wunschgemäß das M-Signal erhält und die Kompatibilität gesichert ist.

Der Stereoempfänger leitet (Bild 6) aus der Empfangsstufe die 30-kHz-Steuerfrequenz ab. Über einen Steuerzusatz wird ein elektronischer Abtastschalter synchronisiert, der demzufolge jetzt mit dem Abtastschalter der

Mischstufe im Sender genau synchron läuft. Er schaltet die vom Empfangsteil (Demodulation) gelieferte NF-Spannung daher im 30-kHz-Rhythmus so auf die beiden Eingänge der nachfolgenden NF-Verstärkerkanäle um, daß jeweils der Abtastimpuls eines Kanals auf den ihm zugehörigen NF-Kanal gelangt. Während das mit dem Sender-Abtastgerät frequenzsynchrone Umschalten durch die Ableitung der empfangsseitigen Steuerfrequenz aus der senderseitigen erreicht wird, erzielt man ein phasensynchrones Arbeiten (wichtig, weil sonst ein Vertauschen von Rechts- und Linkskanal möglich wäre, falls der empfängerseitige Abtastschalter dem senderseitigen um einen Impuls „nachgeht") dadurch, daß beiden NF-Kanälen senderseitig Gleichspannungsanteile gleicher Größe, aber verschiedener Polarität zugefügt werden. Diese Gleichspannungsanteile erscheinen hinter dem Abtastschalter im Empfänger wieder und sorgen für die richtige Phasenlage des Steuerzusatzes. Vor den Eingängen beider NF-Kanäle verhindern die 15-kHz-Filter, daß die Abtastung hörbar wird. An den Ausgängen der Verstärker stehen daher wieder beide Kanalinformationen zur Verfügung.
Empfängt man mit einem solchen Stereoempfänger normalen Mono-Rundfunk, so arbeitet er wie ein üblicher FM-Empfänger, wobei sich die NF-Spannung gleichmäßig auf beide Kanäle — natürlich ohne Stereoeffekt — verteilt, die Kompatibilität ist also auch in diesem Falle gesichert. Der empfängerseitige Aufwand bleibt ebenfalls verhältnismäßig gering. Es werden zusätzlich lediglich zwei elektronische Schalter und die Synchronisiereinrichtung benötigt. Ein solcher Zusatzteil wurde bereits in den Abmessungen 4 · 7,5 · 15 Zentimeter gebaut, so daß man diesen nachträglich leicht in einem „stereo-vorbereiteten" Empfänger unterbringen kann. Wie der verschiedentlich durchgeführte Versuchsbetrieb zeigte, war die Übertragungsqualität — bis auf einen nur wenig schlechteren Rauschabstand — nicht geringer als bei den üblichen UKW-FM-Monoübertragungen (siehe Fußnote Seite 28).
Diese wenigen Einzelheiten mögen genügen, auf eine Aufzählung der sehr zahlreichen und zum Teil auf ganz anderen Prinzipien beruhenden Verfahren muß hier verzichtet werden.

B. Die Praxis der Stereofonie

1. Aufnahmetechnik

Der größte Reiz, das heißt die weitestgehenden Betätigungs- und Lernmöglichkeiten liegen für den Amateur in der Herstellung eigener Tonaufnahmen, in der Tonbandtechnik also. Das gilt für die Stereofonie noch weit mehr als für die monaurale Elektroakustik. Voraussetzung ist ein Stereo-Bandgerät. Inzwischen sind auch in der DDR entsprechende Geräte in der Entwicklung, abgesehen davon ist der Selbstbau eines Stereo-Bandgeräts nicht viel schwieriger als der eines normalen Tonbandgeräts, beziehungsweise es kann an die Umstellung eines vorhandenen Eigenbau-Bandgeräts auf Stereobetrieb gedacht werden. Gerätetechnische Hinweise hierfür gibt Abschnitt C, während in den folgenden Kapiteln das praktische Arbeiten mit Stereogeräten erläutert wird.

1.1. Mikrofon-Probleme

Nicht umsonst taucht in der Überschrift das Wort „Probleme" auf. Die Mikrofonfrage ist bei Amateur-Stereoaufnahmen tatsächlich das schwierigste Problem, da geeignete Stereomikrofone kostspielig und zur Zeit noch schwer zu beschaffen sind. Die Mikrofonfrage ist jedoch der ausschlaggebende Punkt für die Qualität eigener Stereoaufnahmen. Über die Art und Aufstellung der in Frage kommenden Mikrofone wurde in Abschnitt A 2. bereits einiges gesagt. Da fast alle handelsüblichen Mikrofone der für den Amateur in Frage kommenden Preisklassen angenäherte Kugelcharakteristik haben, wird man sich bei Verwendung derartiger Mikrofone auf die seitenbezogene A-B-Stereofonie beschränken müssen, womit jedoch fast alle im Amateurbereich anfallenden Aufgaben ausreichend lösbar sind. Es muß aber auch festgestellt werden, daß für Stereozwecke das beste Mikrofon gerade gut genug ist. Am Mikrofon sollte man also zu-

letzt sparen. Vorzuziehen sind in jedem Falle Richtmikrofone (Nierenmikrofone), im „idealen“ Fall Kondensatormikrofone oder auch — für den Amateur ausreichend — Tauchspulmikrofone. Haben sie genügend ausgeprägte Richtcharakteristik, können sie außer im A-B-System wahlweise auch im X-Y-System (Intensitäts-Stereofonie, vgl. Abschnitt A 2.) benutzt werden, was natürlich die günstigste Lösung ist. In jedem Falle müssen aber beide Mikrofone genau gleiche Eigenschaften aufweisen, das heißt möglichst vom gleichen Typ sein. Billige Mikrofone — zum Beispiel die weitverbreiteten Kristallmikrofone — weisen oftmals innerhalb des gleichen Typs beträchtliche Differenzen in Empfindlichkeit und (noch störender) im Frequenzgang auf, so daß zwei typengleiche Exemplare (besonders wenn sie mit störenden Eigenresonanzen behaftet sind, was speziell bei Kristallmikrofonen vorkommt) nicht unbedingt zueinander passen müssen. Hierüber kann nur der Versuch entscheiden.
Welche Mikrofontypen kommen nun in Frage? Neben allen Kondensatormikrofonen (die mit den verschiedenen Richtcharakteristiken erhältlich sind und falls es sich um hochwertige Fabrikate handelt, nicht unbedingt typengleich sein müssen. Ein gutes für Amateur-Stereofonie geeignetes, auf Kugel- und Nierencharakteristik umschaltbares Kondensatormikrofon ist zum Beispiel das CM 7156 vom Funkwerk Leipzig) kommen alle üblichen Tauchspulmikrofone in Betracht, hierunter beispielsweise das „Reportermikrofon“ RM 51-1 (Gerätewerk Leipzig), das eine hinreichend ausgeprägte, nierenähnliche Charakteristik hat. Allerdings sind die Exemplarunterschiede relativ groß, so daß sich ein Versuch auf ausreichende Übereinstimmung der Eigenschaften empfiehlt. Ein preiswertes dynamisches Mikrofon ist das DHM 61 beziehungsweise DHM 62 des gleichen Herstellers, das allerdings nahezu Kugelcharakteristik hat und daher vorzugsweise für das A-B-System geeignet ist. Gleiches gilt für den Typ MD 30 und hinsichtlich der Richtcharakteristik leider auch für das im übrigen ganz ausgezeichnete dynamische Studiomikrofon DSM 61 des Gerätewerks Leipzig. Kristallmikrofone sind immer als

Behelfe anzusehen, können aber von Fall zu Fall völlig befriedigende Ergebnisse zumindest bei Sprachaufnahmen und auf Richtungseffekt angelegten Aufnahmen bringen. Für Musikaufnahmen sind sie klanglich weniger geeignet. Es muß an dieser Stelle erwähnt werden, daß die Vorzüge der Stereofonie sich nicht nur im zusätzlichen Richtungseffekt ausdrücken. Dies gilt sogar erst in zweiter Linie. Der Hauptvorteil in der Wiedergabe ist ihre akustische „Durchsichtigkeit" und Plastizität, die es beispielsweise ermöglicht, sich — ganz unabhängig von dem vielleicht nicht einmal ausgeprägten Richtungseffekt — selbst bei großen Orchestern voll auf ein einzelnes Instrument zu konzentrieren.
Gut geeignet sind Kristallmikrofone dagegen für Experimente in aufnahmetechnischer Hinsicht. Es kann unter bestimmten Voraussetzungen gelingen, die bei diesen Mikrofonen meist vorhandene, oft recht stark ausgeprägte nierenähnliche Charakteristik (obwohl nach dem Aufbau dieser Mikrofone theoretisch eine Kugelcharakteristik zu erwarten wäre) auszunutzen. Mit zwei derartigen ausgesuchten Mikrofonen (der Amateur benötigt lediglich die sehr preiswerten Einsatzkapseln) können recht brauchbare X-Y- und sogar M-S-Mikrofonkombinationen gelingen, wie Versuche des Verfassers ergaben. Zwei Kristallmikrofone mit nierenähnlicher Charakteristik können je nach Zusammenschaltung entweder zu einem Kugel- oder — was besonders interessant ist — zu einem Achtermikrofon kombiniert werden. Mit drei oder nötigenfalls vier derartigen Kapseln lassen sich dann für alle Stereoaufnahmesysteme (A/B, X/Y oder M/S) Mikrofonkombinationen zusammenschalten, die überraschend gute Ergebnisse bringen können. Näheres über diese Selbstbaukombination von Kristallmikrofonen hat der Verfasser bereits in Heft 4 dieser Reihe, „Tonband-Aufnahmepraxis", niedergelegt.

1.2. Aufnahmen im Heim und im Freien

Obwohl die Stereoaufnahme einige zusätzliche Regeln und Bedingungen gegenüber der Monoaufnahme er-

fordert, liefert sie doch meist auf Anhieb bessere Resultate als die bisherigen Monoaufnahmen des Amateurs. Der in Monoaufnahmen etwas erfahrene Tonbandamateur wird feststellen, daß sich die meisten seiner bisher gesammelten Erfahrungen auch in der Stereoaufnahme bewähren. Zahlreiche derartige Kniffe und praktische Hinweise wurden bereits im genannten Heft 4 dieser Reihe niedergelegt. Hier sollen deshalb in Ergänzung zu diesen allgemeinen Regeln die Grundregeln der Stereoaufnahme dargestellt werden. Der Unterschied zwischen Mono- und Stereoaufnahme wird bereits im Einfluß des Raumnachhalls deutlich, der früher mühsam mit Kissen und Decken „bekämpft" werden mußte. Bei der Stereoaufnahme stört er weit weniger und kann sogar belebend auf die Aufnahme wirken. Ähnlich ist es bei Aufnahmen von Gesprächsrunden: In der Monoaufnahme war die Verständlichkeit gefährdet, sobald mehr als einer sprach. In der Stereoaufnahme kann man sich dagegen voll auf einen Sprecher konzentrieren, selbst wenn noch andere zugleich sprechen. Indirekt wirkt sich das sehr vorteilhaft auf die Natürlichkeit des Gesprächs aus, weil jetzt nicht mehr die von Monoaufnahmen her übliche strenge Gesprächsregie erforderlich ist.
Bild 7 zeigt die für die meisten Aufnahmefälle geeignete „Standard"-Anordnung der Mikrofone, bei a für ein Kombinationsmikrofon (X-Y-System), b für Einzelmikrofone im A-B-System. S 1 ... S 4 sind die Aufnahmeobjekte (Sprecher o. ä.). Diese Anordnung ergibt eine sehr natürliche und gleichmäßige Schallverteilung zwischen beiden Lautsprechern in der Wiedergabe. Wird eine stärkere Betonung der „akustischen Mitte" gewünscht (die „akustische Mitte" ist

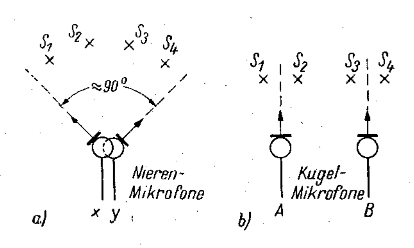


Bild 7
Günstigste Anordnung der Mikrofone für den Normalfall einer Stereoaufnahme. a: für Nierenmikrofone; b: für Kugelmikrofone; S 1 ... 4: Schallquellen

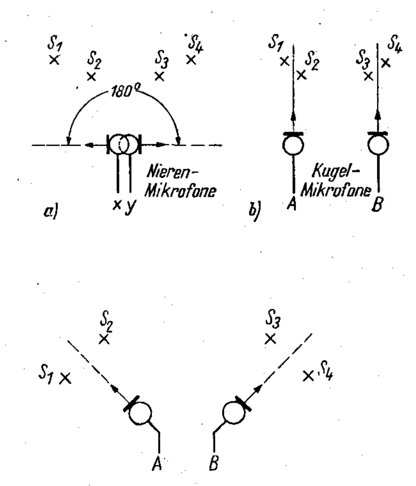


Bild 8
Mikrofonaufstellung für stärkere Mittenbetonung. Erforderlich ist im Falle a (Nierenmikrofone) ein verhältnismäßig geringer Mikrofonabstand, bei b darf die Basisbreite nicht allzu groß sein. Anderenfalls kann es zu einer gegenteiligen Wirkung kommen. Näheres im Text

Bild 9
Mikrofonanordnung für betonten Seiteneffekt. Näheres im Text

meist der am schwierigsten wiederzugebende Teil des scheinbaren Wiedergabeschallfelds, während Seiteneffekte meist unproblematisch sind), so empfiehlt sich eine Mikrofonanordnung nach Bild 8, wiederum je nach benutzter Mikrofonart a oder b. Im Falle b ist dabei interessant, daß die stärkere Mittenbetonung durch ein Auseinanderrücken der mittleren Sprecher S 2 und S 3 erreicht wird.
Beim A-B-System nach Bild 8 b kann dies jedoch leicht in das Gegenteil umschlagen, wie Bild 9 zeigt. Diese Anordnung wird zur verstärkten Seitenbetonung für Effektzwecke benutzt, wobei nur das A-B-System in Frage kommt, und es gleichgültig ist, ob Kugel- oder Nierenmikrofone benutzt werden. Diese Anordnung führt aber je nach räumlicher Trennung beider Sprechergruppen und den – in allen Anordnungen von Fall zu Fall auszuprobierenden – Mikrofonabständen von den Schallquellen schon zu einem zerrissenen Klangbild mit starker Seitenbetonung und fast fehlender Mitte. Die sonstigen Vorteile der Stereofonie (plastischer Klang) gehen dabei oft schon weitgehend verloren.
Für die Aufnahme von Einzelsprechern oder Solisten soll in der Anordnung nach Bild 7 a der Öffnungswinkel

nicht zu groß gewählt werden (30° bis höchstens 60°), bei Bild 7b entsprechend die Basisbreite (Abstand der Mikrofone voneinander) mit nur 30 cm bis 1 m. Die Mikrofone dürfen dann nicht zu nahe besprochen werden, sonst wirken sich kleine Bewegungen des Sprechers als große „Sprünge“ aus, oder der Sprecher erscheint unnatürlich großflächig in der Wiedergabe. Falls die Sprechaufnahmen in Form kurzer Zwischentexte in andere Stereoaufnahmen (Musik oder allgemeines Geschehen) eingeschnitten werden sollen, kann man statt dessen auch den Sprecher betont von einer Seite (Bild 9) beziehungsweise zwei Sprecher (ebenfalls nach Bild 9) von beiden Seiten im Wechsel sprechen lassen (aber nicht ein und denselben Sprecher, da das scheinbare „Hin-und-Herlaufen“ in der Wiedergabe immer unmotiviert wirkt).
Die Aufstellung der Schallquelle und der Stereomikrofone im Raum muß stets so erfolgen, daß eine möglichst gute akustische Symmetrie erreicht wird. Die Sprecher sollen also möglichst gleichmäßig gruppiert werden, während der Einfluß der Raumakustik beispielsweise aus Bild 10 hervorgeht. Falsch ist die Aufstellung nach Bild 10a, da es zu einseitigen Schallreflexionen von der rechten Wand kommt, während die linke Wand durch den Vorhang gedämpft ist. Richtig wäre in diesem Falle eine Aufstellung nach Bild 10b, wobei das Mikrofon, für das hier eine Kombination nach dem X-Y-System angenommen wurde (für A-B-Aufstellung gelten die Zusammenhänge sinngemäß, sind aber kritischer wegen der dann an beiden Mikrofonen oft verschiedenen raumakustischen Verhältnisse!), in Richtung zur dämpfenden Fläche steht.
Dem Bild 11 liegt der gleiche Sachverhalt zugrunde. Falsch ist es im allgemeinen — von besonderen Effekten, wie erwünscht betontem Raumhall und so weiter abgesehen — das Mikrofon gegen die Wand zu richten, womit der von dort reflektierte Schall mit aufgenommen wird. Günstiger ist die um 180° gedrehte Aufstellung nach 10b, und zwar wegen des in diesem Fall diffuseren Raumhalls auch dann, wenn Kugelmikrofone im A-B-System benutzt werden.
Bei Aufnahmen von Tischgesprächen größerer Personengruppen wählt man — wenn der Tisch ausrei-

chend großflächig und nicht zu langgestreckt ist – die Anordnung nach Bild 12a (X-Y-Mikrofonaufstellung, Öffnungswinkel 180°) oder 12b (Kugelmikrofone im A-B-System im ersten und zweiten Tischdrittel). Bei langen und schmalen Tischen führt das jedoch dazu, daß die Sprecher in der Tischmitte zu dicht am Mikrofon sitzen, am Tischende aber zu weit entfernt sind. Die Wiedergabe würde dann die Illusion einer in Basis-

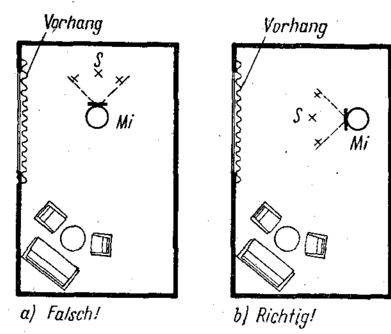


Bild 10 a) Ungünstige Anordnung von Mikrofon M und Sprechern S. Durch die links mit Vorhang gedämpfte, rechts reflektierende Wand kommt es zu einseitigen Reflexionen und unausgeglichener Raumakustik; b) zweckmäßige Anordnung im gleichen Fall. Näheres im Text

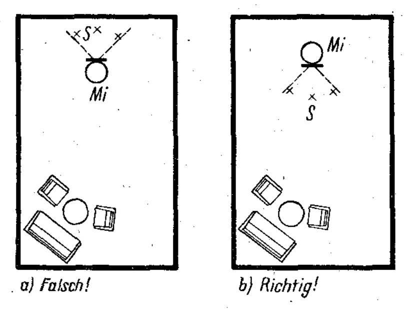
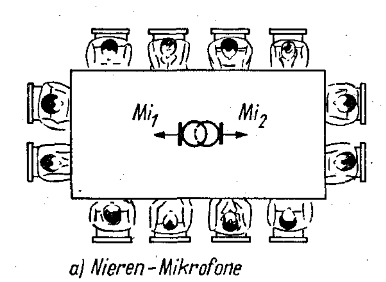


Bild 11 b) Ungünstige Mikrofonaufstellung. Die Wand im Rücken der Sprecher S ergibt starke Reflexionen; b) günstigere Lösung durch diffus verteilte Raumakustik



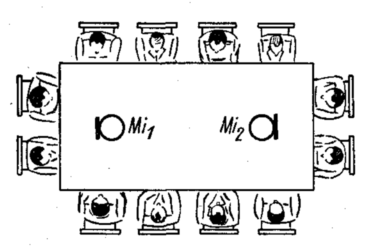


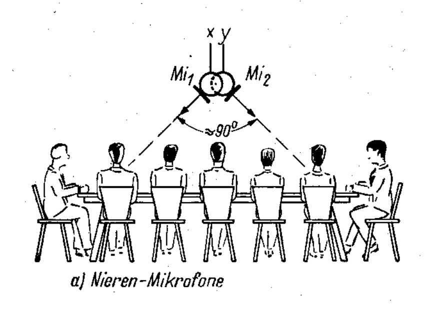
Bild 12
Mikrofonanordnungen zur Aufnahme von Tischgesprächen größerer Personengruppen

mitte hufeisenförmig in den Wiedergaberaum vorgewölbten Tafel ergeben. Abhilfe wird hier durch Aufhängen der Mikrofone über dem Tisch geschaffen, wie Bild 13 wieder für beide Mikrofonarten zeigt. Die Höhe der Mikrofone ergibt sich in Bild 13a aus der Tischlänge und dem angegebenen Öffnungswinkel (Mikrofone über Tischmitte), bei 13b nach Versuch (Mikrofone über dem ersten und zweiten Tischdrittel). Bei der Anordnung nach Bild 13 ist eine Aufstellung des Tisches in Raummitte besonders günstig. Bei allen Aufnahmen am Tisch ist außerdem eine möglichst dicke wollene (o. ä. stark dämpfende) Tischdecke aufzulegen, um Reflexionen an der Tischplatte zu vermeiden. Alle diese Hinweise gelten sinngemäß auch für ähnliche Fälle.

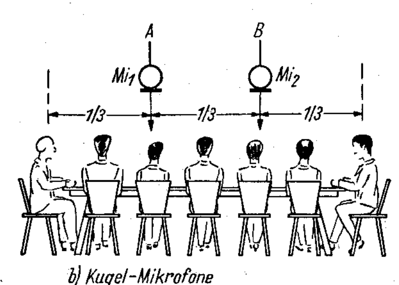
Die Aufnahme bewegter Vorgänge gelingt mit einem Kombinationsmikrofon im X-Y-System in jedem Falle besser als bei getrennten Mikrofonen in A-B-Aufstellung. Von der Mikrofonaufstellung hängt es entscheidend ab, welche scheinbare Bewegung die Schallquelle bei

der Wiedergabe ausführt, diese kann ganz anders wirken, als sie tatsächlich verlief. Die Bilder 14 bis 17 geben hierzu einige Beispiele. Unter a ist jeweils eine Schallquelle S dargestellt, die sich geradlinig von links (Punkt A) über die Mitte (B) nach rechts (C) am Hörer vorbeibewegt. Gleichzeitig zeigen die Bilder unter a jeweils die Mikrofonanordnung für das X-Y-System, bei b diejenige für A-B-Aufstellung, während c die scheinbare Bewegung der Schallquelle bei der Wiedergabe andeutet. Hierfür ist vorausgesetzt, daß der Hörer H sich innerhalb der in Bild 1 erklärten Hörzone und im günstigsten Abstand von den Lautsprechern L 1 und L 2 befindet (Basislänge L 1 bis L 2 gleich Abstand des Hörers H von der Basislinie L 1 — L 2).

In Bild 14 wird die Mitte zu stark wiedergegeben, die Schallquelle scheint bei der Wiedergabe im Punkt B

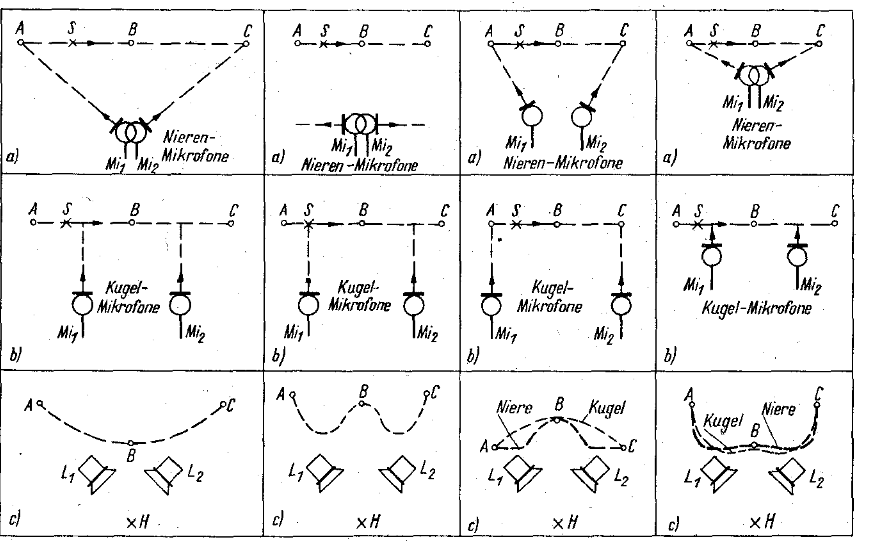


a) Nieren-Mikrofone



b) Kugel-Mikrofone

Bild 13 Bei langen, schmalen Tischen werden die Mikrofone über dem Tisch aufgehängt. Näheres im Text



Bilder 14 bis 17 Scheinbarer Weg einer Schallquelle bei der Wiedergabe (Bilder c), wenn die Schallquelle S sich geradlinig von A über B nach C bewegt, in Abhängigkeit von Art und Anordnung der Mikrofone. Erklärung im Text

nach vorn zu treten. Abhilfe läßt sich durch vergrößerten Mikrofonabstand schaffen, wobei im X-Y-System (Bild 14a) der Öffnungswinkel so weit zu verkleinern ist, daß die Mikrofonachsen auf Anfangs- und Endpunkt der Bewegung zeigen. In Bild 14b bewirkt die Vergrößerung des Abstands jedoch ein Verwischen der Lokalisationsmöglichkeit, das heißt, die Schallquelle erscheint dann großflächiger und diffuser.

Auseinanderrücken der Mikrofone bei A-B-Aufstellung (breitere Basis), beziehungsweise größerer Öffnungswinkel bei X-Y-Aufstellung bewirkt wiederum stärkere Seitenbetonung und Zurücktreten der Schallquelle in der Basismitte (Bild 15a bis c). Einen Extremfall als Gegenstück zu Bild 14 kann man mit einer Aufstellung nach Bild 16 erreichen. Die Kugelmikrofone stehen dabei an den Endpunkten der Bewegung der Schallquelle (16b), die Kombinationsmikrofone nach dem X-Y-System (Nierenmikrofone) werden hier ebenfalls in einer dem A-B-System ähnlichen Weise (Basislänge nach Versuch) aufgestellt, und ihre Achsen den Bewegungsendpunkten zugerichtet. Die resultierende Scheinbewegung in der Wiedergabe ist für beide Mikrofonarten unterschiedlich, wie Bild 16c zeigt, und hängt sehr weitgehend von den Abständen Mikrofone — Schallquelle ab.

Eine der möglichen Folgen zu naher Mikrofonabstände zeigt Bild 17 (Vergleich der Aufstellungen nach a und b mit Bild 14). Die Schallquelle scheint nach den Seiten hin, dann plötzlich zum Hintergrund zu „springen", der Raumeindruck ist unecht und besonders in Basismitte stark verwischt.

Aus den zuletzt gezeigten Beispielen kann man erkennen, daß bei Stereoaufnahmen häufig größere Mikrofonabstände nötig werden, als wir sie von monauralen Aufnahmen her gewohnt sind. Das bedingt von vornherein größere Reserven in der Mikrofonempfindlichkeit. Die Verwendung von Mikrofonvorverstärkern ist bei Stereoaufnahmen daher die Regel. Sie müssen ebenso wie die Mikrofone typengleich sein. Es lohnt sich, die Mikrofonverstärker selbst zu fertigen, da sie im Aufbau den herkömmlichen entsprechen. Durch Zusammenbau beider Mikrofon-

kanäle kann dabei der Aufwand für einen Netzteil gespart werden.
Zu Aufnahmen im Freien ist wenig zu sagen. Alle genannten Grundregeln gelten auch hier, wegen der im Freien fehlenden Raumreflexionen sind die Aufnahmen aber weit unkritischer als im Zimmer. Aufnahmen im Freien gelingen fast immer auf Anhieb und zeichnen sich durch ihre gegenüber Monoaufnahmen weit natürlichere „akustische Atmosphäre“ aus. Selbst manche naturalistischen Geräusche, die sogar mit technisch einwandfreien Monoaufnahmen nicht überzeugend wiederzugeben waren, kommen in der Stereoaufnahme voll zur Geltung (Regen, Wind, Gewitter, ein Holzfeuer usw.), ohne daß dabei ein bestimmter Seiteneffekt Voraussetzung wäre! Diese Eigenschaft der Stereotechnik kann allerdings andererseits dem Amateur schwer zu schaffen machen: Beliebte und bekannte Geräuschtricks (mit Pergamentpapier imitierte Marschkolonne!) werden entweder sofort erkannt oder erfordern andere Lösungen, als sie sich bei Monoaufnahmen bewährt haben (Dampfsirene durch angeblasene Flasche gelingt in Stereoaufnahme z. B. nur bei großem Mikrofonabstand und in sehr halligem Raum!). Auch das Einspielen derartiger Geräuschtricks als Monoaufnahme in nur einen Stereokanal nützt dann oft nichts, weil sich diese Geräusche dann von der Stereoaufnahme akustisch abheben und damit unecht werden. Der Amateur wird sich hier also weitgehend umstellen müssen.

1.3. Stereo-Umschnitte von Platte auf Band (Überspielen)

Das Verfahren des Überspielens gewinnt bei Stereoplatten besonders an Bedeutung, da es eine willkommene Möglichkeit bietet, die sehr empfindlichen Stereo-Schallplatten zu schonen und vorzeitige Abnutzung der nicht unbegrenzt abspielbaren Stereoplatten zu vermeiden (selbst bei hochwertigen Stereoabtastern machen sich bei den derzeit üblichen Stereo-Schallplatten schon nach etwa 30maligem Abspielen deutliche Qualitätsverluste bemerkbar!). Technisch bie-

tet das Überspielen keine Besonderheiten. Es ist im allgemeinen am günstigsten, den Stereo-Plattenspieler direkt mit dem Eingang des Bandgeräts zu verbinden, wobei man — falls nicht genormte Diodenanschlüsse benutzt werden — auf richtige Seitenzuordnung beider Kanäle achten muß. Die Pegelregelung (Aussteuerung) der Bandaufnahme erfolgt dann mit dem Lautstärkeregler des Bandgeräts. Notwendige Klangbeeinflussungen werden nicht beim Überspiel, sondern grundsätzlich erst beim Abspiel der Tonbandkopie vorgenommen. Ein Überspielen unter Benutzung zwischengeschalteter Verstärker ist immer von Nachteil, die Verwendung des Stereo-NF-Teiles eines Rundfunkgeräts hierfür scheidet vollständig aus.

1.4. Pseudostereofonische Möglichkeiten bei Stereoaufnahmen

Unter Pseudo-Stereofonie werden in der Fachterminologie spezielle Aufnahme- oder Übertragungsverfahren verstanden, die physikalisch keine stereofonische Übertragung im Sinne des bei Bild 1 erläuterten Grundprinzips darstellen, aber gehörmäßig stereofonieähnliche Effekte hervorrufen. Die Behandlung dieser dem Amateur wenig Möglichkeiten bietenden Verfahren liegt außerhalb des Rahmens dieses Büchleins. Hier soll vielmehr im weitesten Sinne der Überschrift von der Möglichkeit der Verwendung einkanaliger Aufnahmen (Mono-Bandaufnahmen, Mono-Schallplatten, Einzelmikrofone usw.) als Bestandteil von Stereoaufnahmen die Rede sein. Gerade diese Möglichkeiten sind für den Amateur bei der Gestaltung eigener Stereoaufnahmen besonders von Interesse. Beispielsweise können monaural vorhandene Geräusch- oder Musikaufnahmen und so weiter in eine gleichzeitig aufgenommene Stereoaufnahme eingeblendet werden, zum Beispiel durch Überspielen einer Monoaufnahme von einem Mono-Bandgerät auf ein Stereo-Bandgerät. Solcherart können Geräusche, Untermalungen und so weiter, die nicht als Stereoaufnahmen herstellbar oder zu beschaffen sind, mitverwandt werden. Ein monaural aufgenommener und in eine stereofon aufgenom-

mene Tischrunde eingeblendeter Sprecher kann dann zum Beispiel in der Wiedergabe als deutlich hervorgehobener Einzelsprecher auf einer Seite in Erscheinung treten, beziehungsweise er klingt akustisch deutlich abgesetzt, sozusagen als Kommentator „außerhalb des Geschehens stehend". Hierbei bieten sich zahlreiche Trickmöglichkeiten für den Amateur. Die gerätetechnische Lösung wird im Kapitel C 5. behandelt. Im vorliegenden Abschnitt werden einige mögliche Anwendungen gezeigt. Soll der monaural aufgenommene Sprecher auf einer Seite erscheinen, so wird er einfach zusätzlich in den betreffenden Kanal eingeblendet. Durch Überblenden dieser Monoquelle von einem in den anderen Kanal kann eine Raumbewegung, ein „Wandern" der Quelle künstlich herbeigeführt werden. Damit gelingt es verblüffend echt, zum Beispiel ein imitiertes „knatterndes Motorrad" (erzeugt durch ein kopfstehendes Fahrrad, an dessen rotierendem Hinterrad ein Kartonblatt an den Speichen schleift) akustisch quer vor dem Zuhörer „vorbeifahren" zu lassen. Eine gleichmäßig stark in beide Kanäle eingeblendete Monoaufnahme ertönt nicht — wie zu erwarten wäre — aus der Basismitte, sondern diffus über die ganze Basisbreite verteilt. Es ist daher durchaus möglich, einer im Zimmer aufgenommenen Stereoaufnahme einen „akustischen Hintergrund" — etwa Straßenlärm oder Vogelgezwitscher — zu unterlegen, wobei diese Hintergrundaufnahme keineswegs stereofon aufgenommen sein muß. Natürlich klingt das Ergebnis dann nicht so, als spiele sich das stereofon aufgenommene Geschehen im Freien ab, sondern eher — da ja die Raumakustik der Stereoaufnahme noch vorhanden ist — wie bei einem im Hintergrund geöffneten Fenster, durch das die Hintergrundgeräusche hörbar werden. Solcherart kann zum Beispiel eine im eigenen Heim aufgenommene Gesprächsrunde mittels typischer monaural beigefügter Hintergrundgeräusche (die man vom Rundfunkgerät mitschneiden kann) beliebig in „ferne Länder" verlegt werden und so weiter. Eine andere Möglichkeit besonders für Effektzwecke bietet sich, wenn eine Monoaufnahme mit künstlichem Hall hergestellt wird (über diese Tech-

nik, die Einrichtung provisorischer „Hallräume“ beim Amateur usw., siehe wiederum im Heft 4, „Tonband-Aufnahmepraxis“ dieser Reihe!). Es ist dann leicht möglich, den Originalschall einem Stereokanal, den Hall dem anderen Kanal zuzufügen, was den Eindruck ergibt, als befinde sich der Sprecher im Freien und gegenüber einer großen leeren Halle, einer stark reflektierenden Wand oder dergleichen. — Ein monaural bereits künstlich übertrieben stark verhallter Sprecher, einem Kanal einer Stereoaufnahme beigemischt, erscheint als „Geisterstimme“, die seitlich in dem von der Stereoaufnahme wiedergegebenen Raum schwebt. Durch Überblenden in den anderen Kanal kann der „Geist“ förmlich plastisch durch den Raum schweben. Gerade in Verbindung mit normal aufgenommenen Stereoaufnahmen kommen derartige Tricks zu verblüffend starker Wirkung. Für Amateure, die bereits in Mono- oder Stereotechnik eigene kleine „Hörspiele“ produzieren — es gibt deren durchaus nicht wenige —, für Arbeitsgemeinschaften und so weiter, ergeben sich hier zahlreiche und künstlerisch ausdrucksstarke neue Möglichkeiten. Dem Ideenreichtum sind hier kaum noch Grenzen gesetzt, zumal — Selbstbau der entsprechenden Zusatzgeräte vorausgesetzt — der hierfür nötige Geräteaufwand im Gesamtrahmen einer Stereoanlage in relativ geringen Grenzen bleiben kann.

2. Die Wiedergabetechnik

2.1. Lautsprecher-Fragen

Es muß nicht besonders betont werden, daß den Wiedergabe-Lautsprechern gerade bei Stereoanlagen eine besondere Bedeutung zukommt. Sie sind es, die das auf den beiden Kanälen übertragene NF-Signal in das entsprechende akustische Schallfeld rückverwandeln müssen, von ihnen ist daher wie für den gesamten Kanal eine genaue Übereinstimmung (hier: phasengetreue Abstrahlung des Schalls bei allen Frequenzen des übertragenen Hörbereichs) zu verlangen. Ziel muß es sein, das am Aufnahmeort vorhanden gewesene Schallfeld

möglichst originalgetreu im Wiedergaberaum abzubilden. Da hierbei die akustischen Eigenschaften des Wiedergaberaumes selbst ganz entscheidend mitsprechen, kann das stets nur annähernd gelingen. Der Wiedergaberaum sowie die Anordnung der Lautsprecher in ihm werden deshalb im nächsten Abschnitt gesondert behandelt. Hier stehen nur die Schallwandler zur Betrachtung.

Ein Schallwandler muß nicht unbedingt ein Lautsprecher sein. Gerade für Kontrollzwecke kommt in der Stereopraxis des Amateurs wieder der gute alte Kopfhörer zu seinem Recht, der allerdings sehr gut und hochwertig ausgeführt sein muß. Übliche magnetische Kopfhörer sind dafür schon vom Prinzip her nicht sonderlich gut geeignet, leisten für Amateurzwecke, aber zumindest für überschlägige Kontrollen, zum Beispiel bei der Ermittlung von Mikrofonaufstellungen recht gute Dienste. Bei herkömmlichen Kopfhörern sind beide Hörmuscheln in Serie geschaltet. Es bereitet keine Schwierigkeiten, sie elektrisch zu trennen, um jede Hörmuschel mit dem zugehörigen Kanal verbinden zu können. Hierbei ist auf richtige Polung der Hörmuscheln zu achten: Gleiche Polarität beziehungsweise Phasenlage bei beiden Kanälen muß zu gleichsinniger Auslenkung beider Hörermembranen führen! Bei Falschpolung einer Muschel – für Lautsprecher gilt das Gleiche! – wird der Stereoeindruck verfälscht, das Klangbild wirkt zerrissen, und eine eindeutige Seitenbestimmung ist nicht mehr möglich. – Weitaus geeigneter für Stereozwecke sind moderne Kopfhörer nach dem dynamischen Prinzip, die im Aufbau eine gewisse Ähnlichkeit mit Lautsprechern haben. Im Ausland werden für diese Zwecke bereits spezielle Stereokopfhörer nach diesem Prinzip angeboten, deren Klangqualität im gesamten Hörbereich – auch bei den tiefen Frequenzen – selbst die hochwertigsten Breitband-Lautsprecher in den Schatten stellt. In absehbarer Zeit werden ähnliche Hörer auch aus der DDR-Produktion erhältlich sein. Das Abhören von Stereoaufnahmen mit derartigen Hörern ist ein Genuß, der bei Lautsprecherwiedergabe in dieser Vollkommenheit nicht annähernd erreicht wird. Der Grund hierfür liegt mit darin, daß

bei Kopfhörerwiedergabe alle störenden Einflüsse der Akustik des Wiedergaberaumes, der Hörfläche (Bild 1) und so weiter ausgeschaltet werden, und hochwertige dynamische Hörer auch im Gegensatz zu Lautsprechern keine merklichen Eigenresonanzen, Ungleichmäßigkeiten im Frequenzgang oder ähnliches aufweisen. Die schwächste Stelle des NF-Kanals, der Lautsprecher nebst Wiedergaberaum — deren Fehler bei der Stereofonie besonders störend sind — wird damit ausgeschaltet.

Für die Lautsprecher im Wiedergaberaum kommen daher nur hochwertige Breitbandchassis in Frage, die vom gleichen Typ sein müssen, und selbstverständlich, um akustisch bestmögliche Übereinstimmung zu erzielen, auch in gleiche Gehäuse eingebaut werden müssen. Die volkseigene Industrie bringt für diese Zwecke Stereo-Lautsprecherboxen in den Handel, Selbstbau derartiger Boxen ist ebenfalls leicht möglich. Unbedingt abzulehnen sind aber alle Kunstformen wie Baßreflexboxen oder dergleichen, die einzig sinnvolle Gehäuseform ist die Zimmer-Tonsäule (Stereobox) oder der Ecklautsprecher mit entsprechender übereinstimmender Schallwand. Die Belastbarkeit des beziehungsweise der Lautsprecher soll im Hinblick auf die für einen echten Stereoeindruck aus physiologischen und psychologischen Gründen erforderliche Mindestlautstärke („Stereofonie mit gedämpfter Zimmerlautstärke" gibt es nicht!) wenigstens 4 W, besser 6 W je Kanal betragen. Kombinationen mehrerer Lautsprecher je Kanal sind möglich unter der Voraussetzung, daß alle Lautsprecher vom gleichen Typ sind und die zu einem Kanal gehörenden ohne Zwischenglieder unmittelbar zusammengeschaltet werden. Von den in Monoanlagen verbreiteten Hochton-Tiefton-Kombinationen mit entsprechenden Frequenzweichen ist dem Amateur ganz entschieden abzuraten. Derartige Kombinationen bringen immer unausbleibliche Phasendrehungen zwischen den von den Einzellautsprechern abgestrahlten Schallschwingungen mit sich, was zu partiellen Auslöschungen einzelner Frequenzen und zu weitgehender Verfälschung des Stereoeindrucks führt.

Man muß dabei berücksichtigen, daß die wichtigste An-

forderung an eine Stereo-Lautsprecher-Kombination ein möglichst vollständig phasensynchrones Arbeiten aller zu einem Kanal gehörenden Lautsprechermembranen ist, was sich annähernd nur mit genau gleichen Lautsprechertypen erreichen läßt. Im übrigen besteht für eine Hochton-Tiefton-Kombination bei Verwendung moderner Breitbandlautsprecher, wie sie zum Beispiel das Funkwerk Leipzig in verschiedenen Ausführungen herstellt, keinerlei Anlaß mehr. Nach Möglichkeit soll je Kanal nur ein Lautsprecher benutzt werden, falls nicht akustische Gegebenheiten des Wiedergaberaums (siehe im folgenden Abschnitt) zu mehreren Lautsprechern zwingen.

2.2. Der Wiedergaberaum

Ein Stereo-Abhörraum soll grundsätzlich „akustisch trocken" sein, also im Idealfall möglichst keine eigene Akustik aufweisen. Im Heim läßt sich das nur näherungsweise erreichen, günstig sind deshalb nicht zu kleine Räume, die mit vielen Polstermöbeln, dicken Teppichen, schallschluckenden Gardinen, Wandbehängen und ähnlichem ausgestattet sind. Ein gewisser, mehr oder weniger starker Nachhall bleibt stets übrig, er wird aber erst dann bedenklich, wenn er vorwiegend von einer bestimmten Stelle des Raumes ausgeht. Räume mit einseitig reflektierenden Flächen (etwa ähnlich Bild 10) sind ungünstig. Jedoch ist hier viel zu erreichen, wenn man durch überlegte Raumgestaltung dafür sorgt, daß ein „echosymmetrischer" Raum entsteht, indem die vorhandenen schallschluckenden Stoffe und Gegenstände möglichst gleichmäßig verteilt und größere zusammenhängende Reflexionsflächen vermieden werden. Nach Bild 10 zum Beispiel könnte man das erreichen, indem entweder der Vorhang an die hintere Schmalseite des Raumes verlegt oder noch besser die Polstermöbel diagonal gegenüber dem Vorhang angeordnet werden. Zu beachten ist auch, daß verbleibende reflektierende Flächen sich möglichst nicht direkt gegenüberstehen und auch nicht so angeordnet sind, daß die Lautsprecher direkt auf sie strahlen. Den Ausschlag gibt auch hier wieder der gehörmäßige Versuch, der

allerdings neben einem guten Gehör etwas Geduld verlangt.

Der Begriff der „Hörfläche", innerhalb der ein befriedigender Stereoeindruck entsteht, wurde bei Bild 1 bereits erwähnt. Diese Form der Hörfläche trifft nur genau in einem akustisch völlig „trockenen" Raum zu. Bild 18 zeigt die Verhältnisse. Ob die Lautsprecher an der Längs- oder Schmalseite angeordnet werden und in welchem Abstand (Basisbreite) voneinander, hängt – auf Grund der bei Bild 1 schon genannten Faustregel „Hörerabstand gleich Basisbreite" – vom beabsichtigten Platz des Hörers ab. In Bild 18 beträgt die Basisbreite 5 m, etwa im gleichen Abstand von der Basislinie sitzt der Hörer H. Die Hörzone ist an dieser Stelle jedoch nur etwa 0,5 m breit, so daß die Unterbringung einer Personengruppe innerhalb der Hörfläche und in einem für besten Stereoeindruck günstigen Abstand von der Basislinie zum Problem wird. Glücklicherweise verwischen bereits geringe Wandreflexionen das Schallfeld so weit, daß die Hörzone – bei allerdings etwas verschlechtertem Stereoeindruck – merklich breiter und weniger scharf abgegrenzt ist. Durch ungleiche Wandreflexionen kann sie in ihrem Verlauf sogar sehr weitgehend geändert werden! Es hat angesichts der schmalen Hörzone nicht an Versuchen gefehlt, durch geeignete Lautsprecheranordnungen eine breitere Hörzone zu erreichen. Bild 19 zeigt eine Anordnung, die die Wandreflexionen bewußt ausnutzt und besonders in mäßig halligen Räumen recht gute Ergebnisse bringen kann. Zu beachten ist die dargestellte, für das Prinzip entscheidende verschieden starke Neigung der Lautsprecher gegen die Wände. Die Hörzone hat dann in akustisch symmetrischen Räumen etwa den schraffiert gezeigten Verlauf. Ungünstig ist bei dieser Lösung die erhöhte Gefahr von partiellen Auslöschungen einzelner Frequenzen an bestimmten Stellen des Raumes beziehungsweise umgekehrt die mögliche Bildung von „Echoknoten". Daher eignet sich diese Anordnung bevorzugt als Behelf für Stereovorführungen in Vortragssälen und ähnlichen Räumlichkeiten.

Bild 20 zeigt eine Anordnung, wie sie vorzugsweise für Studioabhörzwecke vorgeschlagen wurde. Sie erfordert

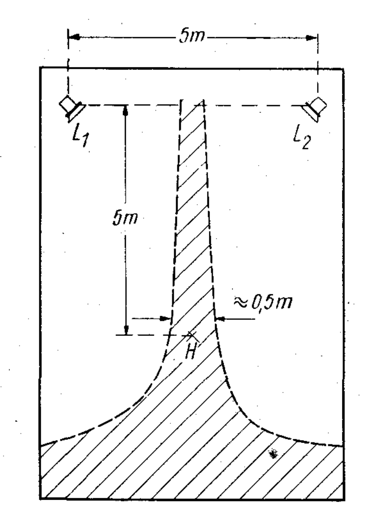


Bild 18 Normalanordnung der Lautsprecher im Wiedergaberaum. Die schraffiert eingezeichnete Hörzone für beste Stereowirkung (siehe Bild 1) gilt nur bei akustisch stark gedämpften Räumen ohne wesentliche Wandreflexionen

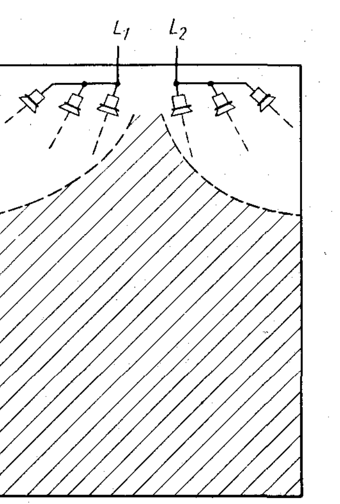


Bild 19 Verbreiterung der Hörzone durch Verwendung mehrerer Lautsprecher je Kanal, die unter verschiedenen Winkeln an die Wände strahlen. Man beachte die Lautsprecherstellungen. Da hier die Reflexionseigenschaften der Wände einbezogen werden, ist diese Anordnung weitgehend von der Raumakustik abhängig und gibt meist unausgeglichene Schallfeldverteilung. Geeignet als Behelf für relativ hallige Vortragssäle und ähnliches, weniger für Heimzwecke

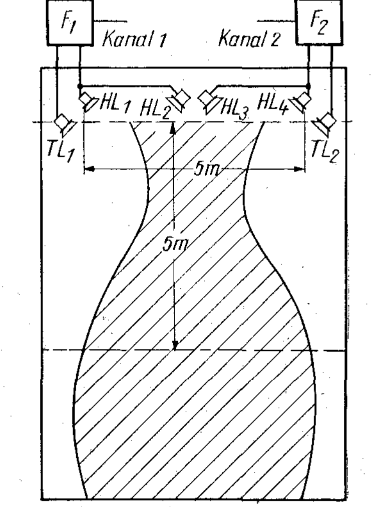


Bild 20 Eine für Studio-Abhörräume vorgeschlagene Anordnung. Bedingung ist ein akustisch stark bedämpfter Raum. Die Hörzone zeigt einen günstigen Verlauf. Nachteilig sind der hohe Aufwand und die nicht einfach zu beherrschenden Frequenzweichen. Man beachte die Lautsprecherstellungen. F 1, F 2: Frequenzweichen; TL 1, TL 2: Tieftonlautsprecher; HL 1 . . . 4: Mittel-Hochton-Lautsprecher

akustisch „trockene“ Räume (in Studios durch entsprechende Wandverkleidungen aus schallschluckendem Material leicht erreichbar). Die Hörzone nimmt hier einen recht günstigen Verlauf, ohne daß dabei die Raumakustik mit ihren schwer kontrollierbaren Einflüssen zur Hilfe genommen wird. Ungünstig erscheinen die erforderlichen Frequenzweichen F 1 und F 2, die dafür sorgen, daß die tiefen Frequenzen jedes Kanals nur aus den Eck-Tieftonlautsprechern TL 1 und TL 2 abgestrahlt werden, die mittleren und hohen Frequenzen dagegen außer über die Mittel-Hochton-Ecklautsprecher HL 1 und HL 4 auch über die ihnen parallelgeschalteten gleichartigen Lautsprecher HL 2 und HL 3 aus Basismitte. Zu beachten ist wieder die Abstrahlrichtung der Lautsprecher. Aus den im vorigen Abschnitt genannten Gründen dürfte das exakte Einmessen derartiger Lautsprecherkombinationen und Frequenzweichen allerdings über die Möglichkeiten des Amateurs hinausgehen. Immerhin können die drei gezeigten Anordnungen als Ausgangspunkt für eigene Versuche dienen. Die für den Amateur empfehlenswerteste Standard-Abhöranordnung ist jedoch die nach Bild 18, die zugleich den geringsten Aufwand bedingt. Die Lautsprecher sollen etwa 1,5 bis 2 m über dem Fußboden (je nach Raumhöhe) und selbstverständlich gleich hoch und symmetrisch zum Grundriß des Raumes angeordnet werden.

C. Gerätetechnik

1. Allgemeines

Dieser Abschnitt wendet sich vorwiegend an den im Selbstbau erfahrenen NF-Amateur. Der Raum dieses Büchleins ist zu knapp, um ausführliche Bauanleitungen zu beschreiben, andererseits gibt es einige für die Stereotechnik typische Schaltungsgrundsätze und Sonderschaltungen, die nicht übergangen werden können.

Es werden daher einige Stereogeräte vorgestellt, die zum Selbstbau geeignet und sämtlich vom Verfasser erprobt beziehungsweise speziell für Amateurzwecke entworfen worden sind. Auf die Behandlung von Einzelheiten, die den aus der Monotechnik Bekannten entsprechen, insbesondere solcher des mechanischen Aufbaus, muß hier verzichtet werden. Alle diese Hinweise sind in den in der Einleitung genannten Büchlein zu finden, die man sinngemäß ohne weiteres auf die hier gezeigten Geräte beim Nachbau anwenden kann.

2. Stereo-Abhörverstärker für Kopfhörerbetrieb

Auf die Vorzüge der Stereowiedergabe mittels Kopfhörer insbesondere für Aufnahmevorbereitungen (Mikrofonaufstellung) wurde bereits unter Abschnitt B 2.1. hingewiesen. Bild 21 zeigt eine Schaltung, die für Kopfhörerbetrieb geeignet ist. Dieser Verstärker kann sowohl unmittelbar den Mikrofonverstärkern nachgeschaltet werden als auch zum unmittelbaren Abhören von Stereo-Schallplatten und Stereo-Bandgeräten dienen. Damit wird eine Kontrolle der Stereowirkung möglich, ohne daß die Gefahr subjektiver Beeinflussung durch den Wiedergaberaum besteht. Bei unbefriedigender Lautsprecherwiedergabe kann man auf diesem Wege vergleichen, inwieweit der Fehler in der Aufnahme oder im Wiedergaberaum zu suchen ist. Während für die Beurteilung von Mikrofonaufstellungen bereits ein guter magnetischer Kopfhörer ausreicht, sollte für Qualitätsvergleiche jedoch möglichst ein dynamischer

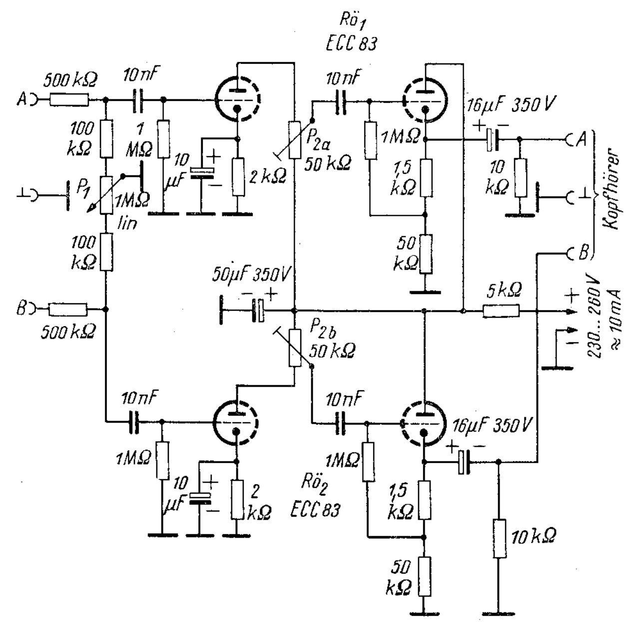


Bild 21 Schaltung eines einfachen Abhörverstärkers für Kopfhörer zum Kontrollieren von Mikrofonaufstellungen, Abhören von Stereoaufzeichnungen und so weiter. Erklärung im Text. Um auch dynamische Kopfhörer anschließen zu können, wurde der Ausgang niederohmig (Z ≈ 200 Ω) ausgelegt

Kopfhörer benutzt werden. Da diese Hörer meist relativ niederohmig sind (einige 100 Ω), wurde der Ausgang des Verstärkers für eine Ausgangsimpedanz von etwa 200 Ω ausgelegt. Die Stromversorgung erfolgt aus einem üblichen Netzteil. Eine Lautstärkeregelung wurde nicht vorgesehen, da sie hier entbehrlich ist beziehungsweise dem Verwendungszweck direkt widerspricht. Gleichzeitig wird damit die Verwendung eines Spezial-Tandem-Lautstärkereglers umgangen. Mit den Potentiometern P 2 a und P 2 b stellt man beide Kanäle einmalig auf gleiche Lautstärke ein, indem beide Eingänge A und B parallelgeschaltet und aus einer Monoquelle (Mono-Plattenspieler o. ä.) betrieben werden. Der

Balanceregler P 1 muß hierbei genau in Mittelstellung stehen. Er dient später weniger zur nachträglichen Einstellung der „akustischen Mitte“, wie das von üblichen Stereoverstärkern her bekannt ist, sondern vielmehr, um sich im Zweifelsfall Klarheit verschaffen zu können, ob der unbefriedigende Mitteneindruck einer Aufnahme an der ungleichen Kanalverstärkung liegt oder rein akustische Ursachen hat. Im letzteren Falle kann man den Mitteneindruck mit P 1 kaum verbessern. Diese Kontrollmöglichkeit ist typisch für den Kopfhörerbetrieb und hat sich recht gut bewährt. Der Aufbau des Geräts hat im übrigen keinerlei Besonderheiten und ist unkritisch. Für den Ausgang sollte ebenfalls eine Diodenbuchse benutzt werden (Kopfhörer mit Diodenstecker), um spätere versehentliche Falschpolung einer Hörmuschel von vornherein zu vermeiden.

3. Bauanleitung für einen hochwertigen NF-Stereo-Verstärker

Der hier beschriebene Stereoverstärker, dessen Gesamtschaltung Bild 22 zeigt, hat Studioqualität. Seine Schaltungsdimensionierung kann als typisch für Stereoverstärker angesehen werden. Eine ausführliche Bauanleitung für diesen Verstärker ist in der Zeitschrift „radio und fernsehen“, Heft 16 und 17/1962 erschienen, so daß hier nur die wesentlichsten Einzelheiten zu nennen sind. Der Verstärker weist zwei mischbare Eingänge für Mikrofon (M) und Stereo-Tonbandgerät (TB) auf. An TB kann man das im nächsten Abschnitt beschriebene Stereo-Bandgerät anschließen. Da beide Verstärkerkanäle identisch sind, wird im folgenden nur der obere Kanal besprochen.

Rö 1 entkoppelt die Eingänge voneinander. Wegen des höheren Ausgangspegels des Bandgeräts macht sich für diesen Eingang eine Eingangsspannungsteilung (R 1/R 2) erforderlich. Das hat den Vorteil, daß der zweite Eingang je nach Verwendungszweck entweder unter Fortfall dieses Teilers als zweiter mischbarer Mikrofoneingang dienen kann (beide Mikrofoneingänge sind so empfindlich, daß für normale Stereoaufnahmen selbst

Tauchspulmikrofone ohne zusätzlichen Vorverstärker direkt angeschlossen werden können), oder der Bandgeräteingang TB wird als Plattenspielereingang benutzt. In diesem Falle tritt an Stelle des Teilers R 1/R 2 die für Stereoplatten erforderliche Schneidkennlinien-Entzerrung, deren Schaltung Bild 23 zeigt, und deren Grunddämpfung gleichzeitig die für Plattenspielerbetrieb richtige Eingangsempfindlichkeit bewirkt. — Als Eingangsregler wurden im Mustergerät die „Stradivari-Tandempotentiometer“ mit der dafür vorgeschriebenen RC-Beschaltung benutzt, selbstverständlich kann man auch andere Stereo-Tandemregler (Hersteller z. B. VEB Elrado Dorfhain) verwenden. Spezielle Stereo-Tandemregler sind jedoch wegen der zu stellenden Gleichlaufforderungen unbedingt erforderlich, da ungleiche Regelverläufe in beiden Kanaleingängen zu einer scheinbaren Verschiebung der „akustischen Mitte“ führen würden. — Die in Rö 1 gemischten Eingangsspannungen des oberen Kanals werden in Rö 2 a nachverstärkt. Rö 1 und Rö 5 arbeiten zur Verbesserung des Brummspannungsabstands in Gitteranlaufstromschaltung, wodurch trotz der Wechselstromheizung auch bei diesen Röhren ein Brummspannungsabstand von mehr als 60 dB erreicht werden kann. P 2 ist der Balanceregler. Er dient zur bedarfsweisen Nachregulierung der „akustischen Mitte“ und stellt ein für die Stereo-NF-Technik typisches Regelorgan dar. Mit den Widerständen R 3 a und R 3 b ist es bei der ersten Einstellung des Verstärkers bedarfsweise möglich, beide Kanäle auf genau gleiche Verstärkung zu bringen, indem diese Werte gegenläufig etwas abgeändert werden (Kanaleingänge jeweils parallelgeschaltet und mit einer Monoquelle — Tongenerator — gespeist, P 2 in Mittelstellung). Im übrigen muß man aber wie bei jedem Stereoverstärker darauf achten, daß einander entspre-

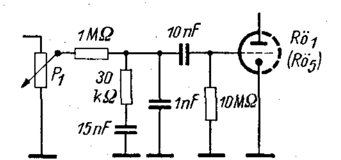


Bild 23
Schneidkennlinien-Entzerrer für den Stereoverstärker. P 1 ist vereinfacht dargestellt und entspricht P 1 a, b in Bild 22

chende Einzelteile in beiden Kanälen genau wertgleich sind. Nur dann läßt sich die erforderliche genaue Phasengleichheit und Frequenzgangübereinstimmung beider Kanäle erreichen. Das gilt insbesondere für die Klangreglerschaltungen mit P 3 und P 4, deren sämtliche Einzelteile auf zwei Prozent genau stimmen sollen. Für die Klangregler wurden hier röhrenentkoppelte RC-Schaltungen mit einer Regelcharakteristik nach dem aus der Monotechnik bekannten Fächerdiagramm eingesetzt, die durch ihre etwas ungewöhnliche Dimensionierung (Tiefenregler: 500-pF-Reihenkondensator, dahinter 25 nF gegen Masse) auffallen und einen sehr großen Regelumfang haben. Für die Klangregler sind wiederum Tandemregler erforderlich, benutzt wurden im Mustergerät die „Stradivari"-Klangregler. Wie bereits früher erwähnt, scheiden Klangregelungen in Gegenkopplungszweigen für Stereoverstärker wegen der dabei kaum vermeidbaren Phasenfehler aus. Auch auf die Vermaschung von Höhen- und Tiefenregler (die grundsätzlich je Kanal ein Röhrensystem erspart) wird im Interesse der Vermeidung gegenseitiger Rückwirkungen verzichtet. Die Endstufe arbeitet je Kanal im Eintakt-A-Betrieb und gibt eine gemessene Sprechleistung von rund 2,8 W ab, was für Heimzwecke und normale Raumgrößen bereits gut ausreicht, trotz der bei Stereowiedergabe ungewohnt großen Abhörlautstärken. Die an sich günstigere Gegentakt-AB-Endstufe mit zwei EL 84 je Kanal ist hier nicht vorgesehen, um für beide Kanäle noch mit einem gemeinsamen Netzteil üblicher Dimensionierung auskommen zu können. Von der Sekundärseite des Ausgangsübertragers — für den nur ein erstklassiger Breitbandübertrager mit Kammerwicklung in Frage kommt, der bei beiden Kanälen genau gleich sein muß (vorheriges Ausmessen der Primärimpedanzen ist ratsam, vom Selbstbau wird abgeraten, falls nicht alle dafür notwendigen Voraussetzungen vorhanden sind) — zweigt eine lineare Spannungsgegenkopplung ab, die hier neben einer Klirrfaktorverringerung vor allem den Zweck der Bedämpfung der Lautsprecher-Eigenresonanzen hat. Die Regler P 5 a und P 5 b werden demgemäß bei der Inbetriebnahme einmalig so eingestellt, daß die erforder-

liche Ausgangsleistung gerade erreicht wird. Sie sollen dann in etwa gleicher Stellung stehen.

Der Netzteil bietet bis auf die Anodenspannungs-Stabilisierung keine Besonderheiten. Die Verwendung einer Netzdrossel wurde beim Mustergerät aus Platz- und Gewichtsgründen umgangen, sie erwies sich als nicht erforderlich. Zur Siebung tragen neben der in allen Stufen sehr reichlich bemessenen Anodenspannungssiebung auch die drei in Serie geschalteten Varistoren (spannungsabhängige Widerstände vom VEB Keramische Werke Hermsdorf, VDR 0,19/200-44) bei. Sie verhindern insbesondere bei Röhrenausfall sowie im Einschaltmoment ein Hochlaufen der Anodenspannung — sie ging beim Mustergerät beim Ziehen beider Endröhren nur um knapp 30 V hinauf —, wodurch für alle Siebelkos 350-V-Ausführungen verwandt werden konnten.

Die Aussteuerungskontrolle erfolgt mit einer „Magischen Waage" EM 83 (Rö 9), wobei jedem Kanal ein Leuchtbalken zugeordnet ist. Der Punkt für Vollaussteuerung wurde am Röhrenkolben mit einem Eichstrich markiert. Als Zusatzeinrichtung erhielt der Verstärker einen einfachen Prüftongenerator, der mit der Prüftontaste PT eingeschaltet werden kann und an beide Kanäle eine zwangsläufig gleich große NF-Spannung abgibt, die bei der Ersteinstellung durch geeignete Bemessung von R 4 und R 5 so dimensioniert wird, daß in beiden Kanälen Vollaussteuerung erfolgt. Damit kann man mittels der Aussteuerungsanzeige jederzeit eine exakte Funktionskontrolle beider Kanäle durchführen. Mit dem Balanceregler P 2 regeln wir im Wiedergaberaum nach dem Prüfton sehr genau die „akustische Mitte" ein, ohne hierzu eine besondere NF-Quelle zu benötigen. Diese Einrichtung erwies sich im praktischen Einsatz als außerordentlich wertvoll. — Von den Anoden der Rö 3 b und Rö 7 b zweigen die Aufsprechleitungen für das Stereo-Bandgerät ab, der Aufnahmeanschluß TB wird mit dem zugehörigen Eingangsanschluß in Form einer 5poligen Diodensteckdose vereinigt (Bild 5), die seinerzeit jedoch noch nicht zur Verfügung stand.

Über diesen Aufsprechausgang kann bedarfsweise eine

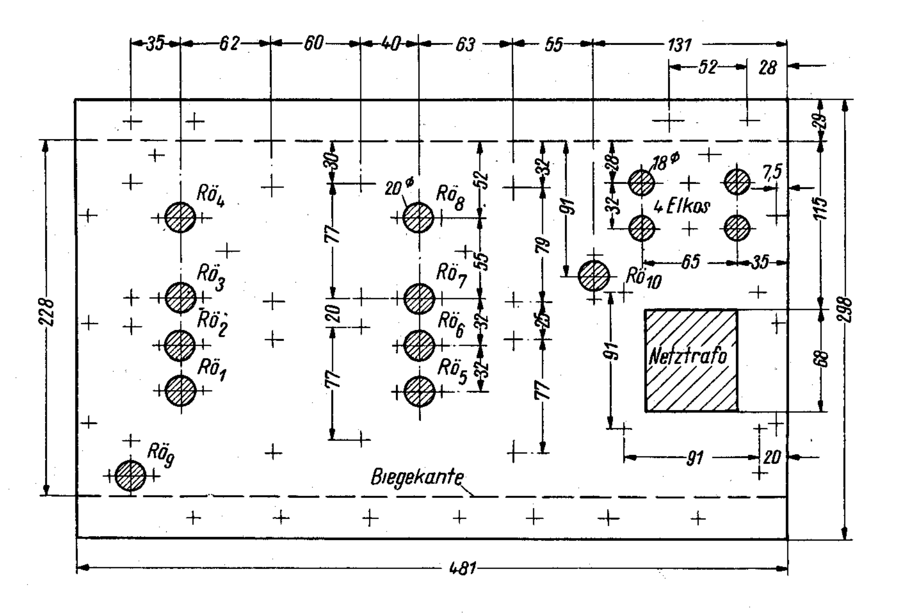


Bild 24 Maße der Chassisgrundplatte des Stereoverstärkers

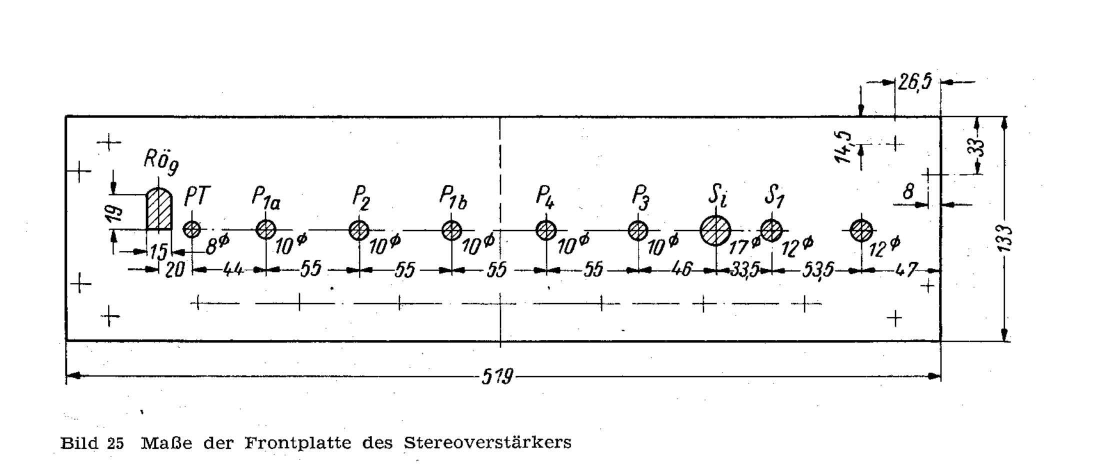


Bild 25 Maße der Frontplatte des Stereoverstärkers

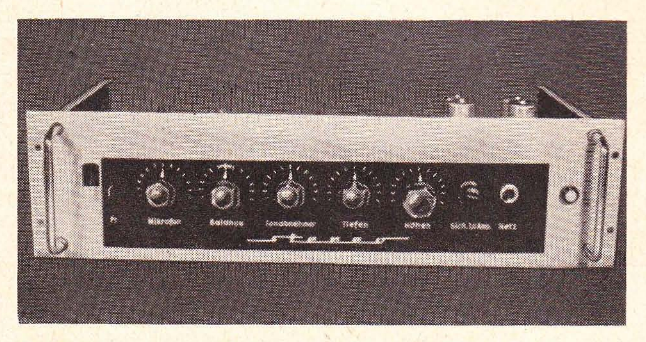


Bild 26 Ansicht der Frontplatte des als Gestell-Normeinschub ausgeführten Stereoverstärkers. Von links nach rechts: Eingangsregler Mikrofon, Balanceregler, Eingangsregler Tonabnehmer, Tiefenregler, Höhenregler, Netzschalter und Sicherung. Links neben dem ersten Regler die Pegeltontaste PT, außerhalb der Schriftblende die Einblicköffnung für die Aussteuerungskontrolle

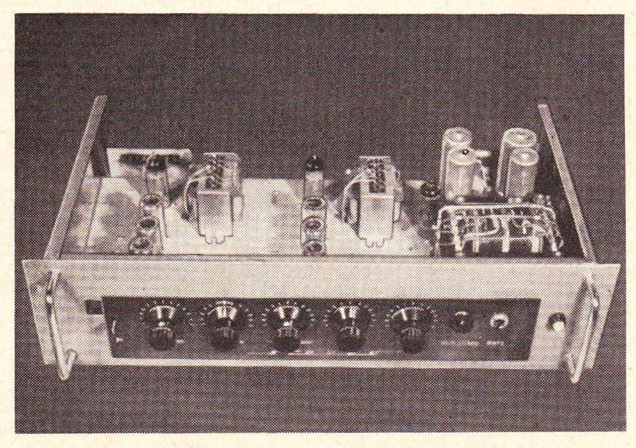


Bild 27 Aufsicht auf den Stereoverstärker. Rechts Netztrafo und Siebelkos. Hinten neben den Endröhren die Ausgangstrafos

Stereo-Bandaufnahme über den Verstärker unter Benutzung von dessen Klangregeleinrichtungen erfolgen, falls das in Sonderfällen notwendig erscheint (Klangveränderung von Stereo-Plattenumschnitten in Sonderfällen usw.).
Auf weitergehende Hinweise, insbesondere bezüglich des Aufbaus und Einmessens, muß hier verzichtet werden. Für den Nachbau sei jedoch das Studium der genannten ausführlichen Bauanleitung empfohlen. Bild 24 und 25 geben die wichtigsten Maße für Chassis und Frontplatte des Mustergeräts an, das als Gestelleinschub in üblicher Normverstärkerbauweise aufgebaut wurde. Die Fotos (Bild 26 bis 28) lassen den Aufbau des Mustergeräts erkennen. Beide Kanäle wurden auch mechanisch streng symmetrisch aufgebaut, wie besonders Bild 28 zeigt. An der Frontplatte sitzen die Eingangs- und Klangregler P 1 . . . P 4. Von ihnen aus in Richtung zur Rückseite folgen die beiden Verstärkerkanäle. Die Endröhren sind unmittelbar neben den Ausgangsübertragern angeordnet. Links in Bild 28 ist der Netztrafo sichtbar, für den hier der bekannte Netztrafo des 25-W-Normverstärkereinschubs benutzt wurde. Die Verdrahtung beider Kanäle verläuft, wie

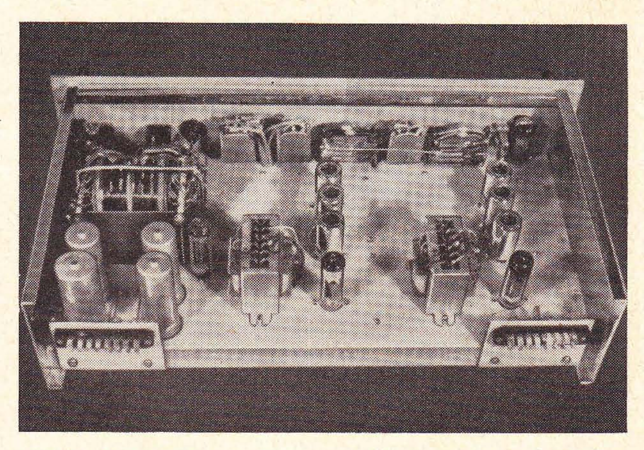


Bild 28 Rückansicht des Stereoverstärkers. Siehe auch im Text

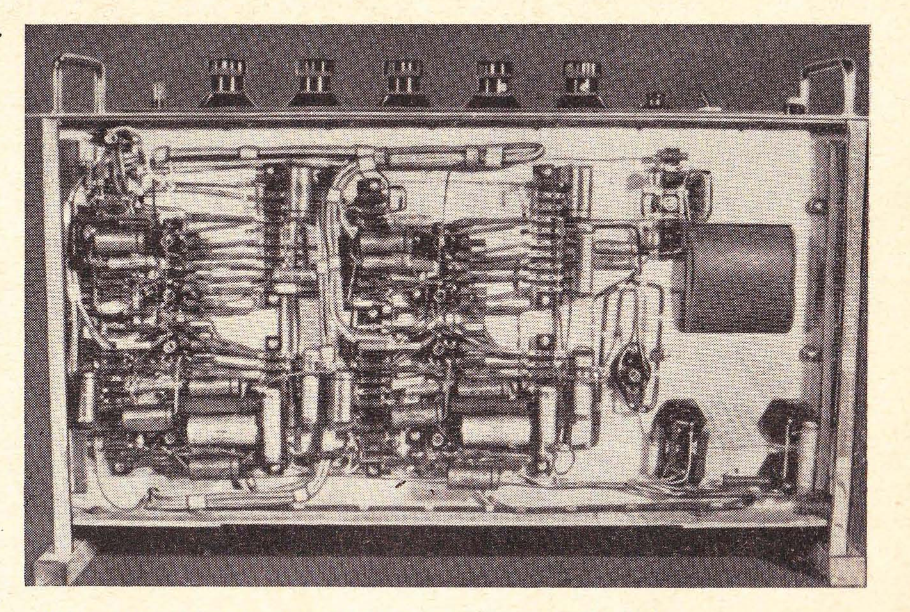


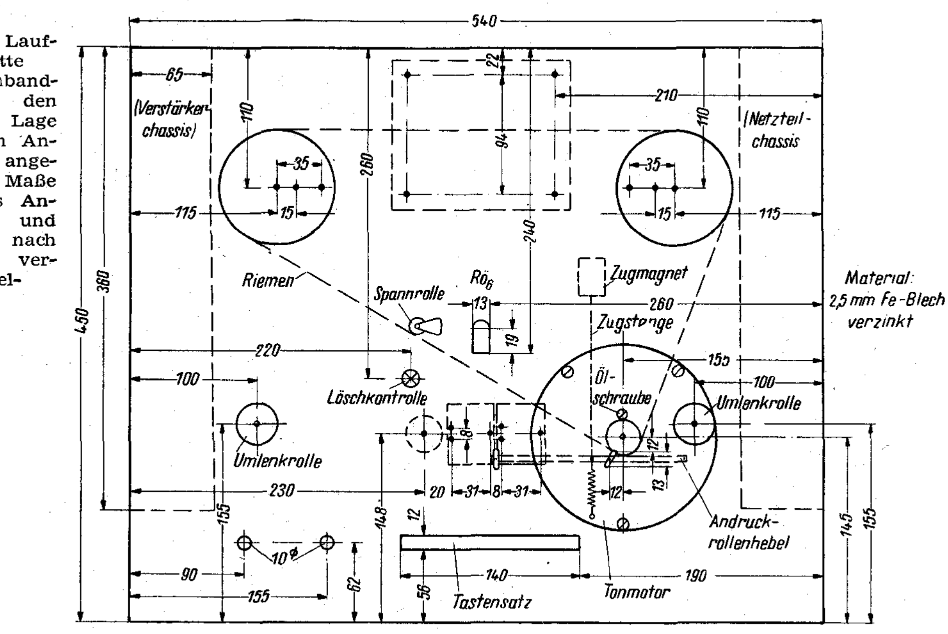
Bild 29 Verdrahtungsansicht des Stereoverstärkers. Siehe Text

Bild 29 zeigt, ebenfalls streng symmetrisch. Da bei den zum Teil recht hochohmigen Leitungen bereits die Verdrahtungs- und Schaltkapazitäten mitsprechen können, trägt auch dieser streng symmetrische Verdrahtungsaufbau mit zur elektrisch völligen Gleichwertigkeit beider Kanäle bei. Besonders muß man beim Aufbau die aus der allgemeinen NF-Technik bekannten Grundätze hinsichtlich der Wahl der Massepunkte beachten, die für beide Kanäle getrennt zu halten und nur an einer Stelle zusammenzuführen sind.

4. Stereo-Tonbandgerät mit einem Motor für den Selbstbau

Dieses Gerät wurde ebenfalls bereits in Form einer ausführlichen Bauanleitung in der Zeitschrift „radio und fernsehen" Heft 15 bis 17/1961 beschrieben, auf deren Studium beim Nachbau verwiesen sei. Allgemeine Grundsätze für den Selbstbau von Tonbandgeräten sind auch im Heft 2 dieser Reihe, „Tonbandgeräte selbstgebaut", zu finden. Da ein Stereo-Bandgerät sich von einem herkömmlichen Mono-Bandgerät lediglich in der Auslegung der doppelt vorhandenen Verstärker und in Art und Anordnung der Tonköpfe unterscheidet, während mechanisch praktisch keine Unterschiede bestehen, wird nur das für ein Stereo-Bandgerät Wesentliche kurz behandelt. Das hier vorgestellte Mustergerät beweist gleichzeitig, daß es auch ohne Vorhandensein spezieller Stereobauteile, insbesondere von Stereotonköpfen, möglich ist, ein für Amateurzwecke völlig ausreichendes Stereo-Bandgerät aufzubauen. Gleichzeitig soll diese Beschreibung Anregungen zum Umbau vorhandener Eigenbau-Mono-Bandgeräte auf Stereobetrieb geben.
Die Bilder 30 und 31 zeigen die mechanische Grundkonzeption und geben die wichtigsten Maße des Mustergeräts wieder. Als Tonmotor fand im Mustergerät der Typ WKM 130—30 Verwendung, dessen Achse gleichzeitig die Tonrolle ist. Die Bandgeschwindigkeit liegt damit auf dem für Stereoamateuraufnahmen nach wie vor günstigsten Wert von 19,05 cm/s fest. Von gerin-

Bild 30
Maßskizze der Laufwerk-Grundplatte des Stereo-Tonbandgeräts für den Selbstbau. Die Lage der wichtigsten Antriebsteile ist angedeutet. Die Maße sollen nur als Anhalt dienen und richten sich nach den jeweils verwendeten Einzelteilen



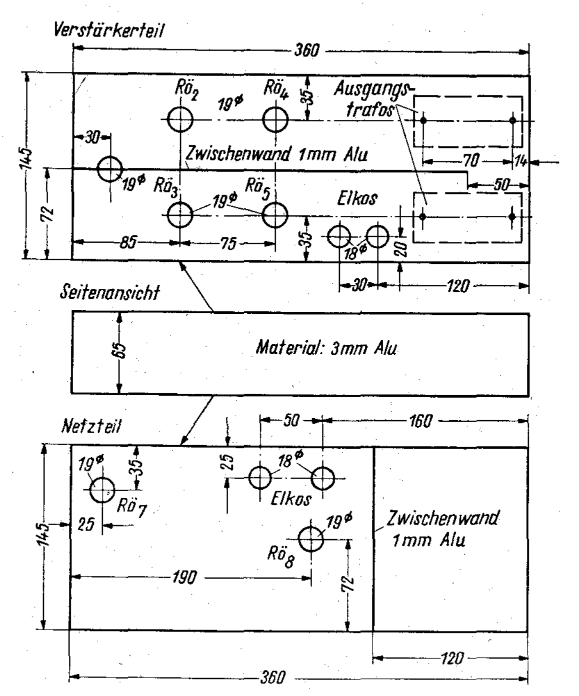


Bild 31 Maßskizzen des Verstärkerchassis (oben) und Netzteilchassis (unten) des Stereo-Tonbandgeräts

geren Bandgeschwindigkeiten wird auch beim derzeitigen Stand der Technik zumindest für den Selbstbau von Stereo-Bandgeräten abgeraten, da die mechanischen Genauigkeitsanforderungen beträchtlich steigen und mit amateurmäßigen Mitteln dann oft nicht mehr befriedigend zu meistern sind. Bei der hier gewählten Lösung mit versetzten Spuren (normalen Halbspur-Mono-Tonköpfen) ist eine geringere Bandgeschwindigkeit auch mit Rücksicht auf die Qualität des Stereoeffekts und die Cutterfähigkeit der Bänder nicht ratsam.

Der Tonmotor treibt gleichzeitig beide Bandteller über einen dreieckförmig verlaufenden Riemen. Als Teller-

lager wurden die bewährten, leider nicht mehr leicht zu beschaffenden BG-19-Triebteile benutzt, wie sich überhaupt die mechanische Konzeption des Antriebs weitgehend an die des „klassischen“ BG 19 anlehnt. Der gesamte Antrieb wurde jedoch elektrisch gesteuert, die Andruckrolle wird mittels Zugmagnet betätigt. Als Bedienungsorgan dient ein Neumann-Tastenschalter.

Bild 32 zeigt die Schaltung der Verstärkereinheiten und des HF-Generators. Der Eingang ist für Mikrofon mit Vorverstärker beziehungsweise für Plattenspieler ausgelegt und weist in beiden Fällen noch reichliche Empfindlichkeitsreserven auf, die zum Beispiel den direkten Anschluß von Kristallmikrofonen noch zulassen, deren Verwendbarkeit für Stereozwecke hier durch den mit 10 MΩ sehr hochohmigen Eingang (der entsprechend sorgsam abzuschirmen ist) etwas begünstigt wird. Für Plattenspieleranschluß reicht die Empfindlichkeit für die bedarfsweise Vorschaltung eines Stereo-Schneidkennlinien-Entzerrers nach Bild 23 aus. Die Aussteuerung wird mit dem Tandemregler P 1 a,b geregelt, ihm nachgeschaltet ist wiederum der Balanceregler (Mittenregler) P 2.

Zwischen den Systemen der Rö 2 beziehungsweise Rö 3 liegen die üblichen Aufsprech- beziehungsweise Wiedergabeentzerrer. Der jeweils für Aufnahme und Wiedergabe bestimmte Entzerrer wird über den Tastenschalterkontakt W 3, W 4 beziehungsweise W 7, W 8 eingeschaltet. Zugunsten eines tragbaren Aufwands wurde hier ausnahmsweise die bereits in zahlreichen Mono-Bandgeräten bewährte und mit amateurmäßigen Mitteln relativ gut zu beherrschende Entzerrerschaltung in Form einer Gegenkopplungsschleife beibehalten (siehe die in Heft 2 dieser Reihe angegebenen Entzerrerschaltungen und dazu gegebenen Hinweise sowie die eingangs genannte Bauanleitung). Allerdings muß hier darauf geachtet werden, daß die einander entsprechenden Teile beider Entzerrer auf wenigstens zwei Prozent genau übereinstimmen, was auch für die bei der Einstellung des Frequenzgangs abzugleichenden Kondensatoren C 1 gilt! Beide Entzerrer müssen daher gemeinsam und genau übereinstimmend abgeglichen werden, wobei sich — wenn der

Aufbau des Geräts im übrigen einwandfrei ist und auch die Köpfe ausreichend übereinstimmen — für die einander entsprechenden Kondensatoren C 1 zwangsläufig gleiche Werte ergeben müssen. Das Einmessen der Entzerrer beziehungsweise des gesamten Geräts geht im übrigen genauso wie in der genannten Bauanleitung vor sich oder erfolgt auf die in Heft 2 dieser Reihe für Monogeräte beschriebenen Weise. Nähere Ausführungen erübrigen sich. Gleiches gilt auch für den — beiden Kanälen gemeinsamen — HF-Generator, der hier wegen der höheren Löschleistung mit einer EL 84 bestückt ist. Der Löschkopf ist ein Vollspurkopf und beiden Spuren beziehungsweise Kanälen gemeinsam.

Das Gerät weist einen Anschluß für Kontrollkopfhörer (bei der Aufnahme) auf, der gleichzeitig als Wiedergabeausgang zum Betrieb eines Stereoverstärkers dient. Zusätzlich wurde, um das Bandgerät selbständig einsetzen zu können, je Kanal eine Abhörendstufe mittlerer Ausgangsleistung vorgesehen. Parallel zu der Primärwicklung jedes Ausgangstransformators (für die wiederum die im vorigen Abschnitt genannten Grundsätze gelten) liegt ein spannungsabhängiger (VDR-) Widerstand, der bei nicht angeschlossenem Lautsprecher ein Hochlaufen der Ausgangsspannung der dann leerlaufenden Endstufe auf schädliche Werte vermeidet. Diese Maßnahme ist unbedingt erforderlich, da ein Hochlaufen der leerlaufenden Endstufe nicht wie in dem vorstehend beschriebenen Stereoverstärker durch eine Spannungsgegenkopplung ausgeglichen wird, andererseits aber mit dem Leerlauffall gerechnet werden muß. — Zur Aussteuerungskontrolle dient ebenso wie beim Stereoverstärker des vorigen Abschnitts eine Magische Waage EM 83 (Rö 6), mit der die Aussteuerung beider Kanäle getrennt kontrollierbar ist.

Bild 33 zeigt die Schaltung von Netzteil und Steuerung des Bandgeräts. Alle Umschaltungen werden ebenso wie in Bild 32 durch Kontakte des Tastenschalters vorgenommen, dessen Kontaktbelegung Bild 34 zeigt. In Stellung „Aus“ („Netz aus“) sind alle Tasten ausgeklinkt. Beim Drücken einer beliebigen Taste schal-

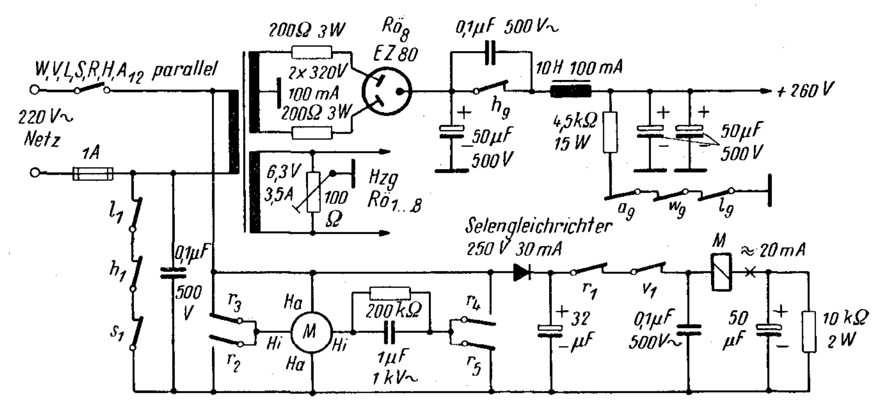


Bild 33 Schaltung von Netzteil und Steuerung des Stereo-Bandgeräts

		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Wiedergabe	W	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•		•
Vorlauf	V	•											•
Lautsprecher	L	•								•	•		•
Stop	S	•											•
Vorheizen	H	•								•			•
Rücklauf	R	•	•	•	•	•							•
Aufnahme	A	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•		•

• = belegte Kontakte
Taste gedrückt: geradzahlige Kontakte geschlossen,
ungeradzahlige Kontakte offen.

Bild 34 Kontaktbelegung auf dem Tastenschalter des Bandgeräts

tet deren Kontakt 12 das Netz an (Bild 33). Die Kontakte der Aufnahme- und Wiedergabetaste schalten die Entzerrer und die Kopfleitungen um (Bild 32), zusätzlich werden bei Aufnahme über a 10 der HF-Generator beziehungsweise bei Wiedergabe über w 10 die Abhörendstufen eingeschaltet. Letztere kann man auch bei stehendem Band mit der Taste „Lautsprecher" (l 10) einschalten, so daß ein Abhören der angeschlossenen Quelle bei stehendem Band sowie die Verwendung des Bandgeräts als normaler Stereoverstärker möglich ist. Im Netzteil wird bei Aufnahme, Wiedergabe und „Lautsprecher" ein entsprechender Ersatzlastwiderstand mit dem jeweiligen Tastenkontakt 9 abgeschaltet, der erforderlich ist, weil sonst bei abgeschalteten Endröhren und HF-Generator durch den dann stark verringerten Anodenstrombedarf die Anodenspannung unzulässig hochlaufen würde. An Stelle dieses Ersatzlastwiderstands kann aber auch, wie im Netzteil des Bildes 22, eine Serienschaltung dreier VDR-Widerstände benutzt werden, deren Abschaltung sich dann erübrigt. — Der Bandmotor soll nur bei gedrückter Taste L, S oder H stehen (Bild 34), bei allen anderen Tasten muß er laufen. Er wird demzufolge durch Ruhekontakte dieser drei Tasten geschaltet, die beim Drücken einer der anderen Tasten ausrasten (h, l, s 1 in Bild 33). Diese Lösung war erforderlich, weil die sonst nötigen Arbeitskontakte der Tasten W,

V, R, A nicht mehr verfügbar waren. Der Andruckrollenmagnet M bekommt stets zusammen mit dem Tonmotor Spannung, lediglich bei Vor- und Rücklauf wird er über die Kontakte v 1 oder r 1 abgeschaltet, so daß das Band frei durchlaufen kann. Die Taste „Vorheizen" H dient zur Verringerung des Stromverbrauchs und der Eigenerwärmung, mit ihr kann das Gerät bei geheizten Röhren und abgeschalteter Anodenspannung ständig startbereit gehalten werden. Taste H klinkt beim Drücken einer anderen Taste automatisch mit aus.

Bild 35 zeigt die Aufsicht auf das fertige Gerät, das für 1000-m-Bänder ausgelegt wurde. Bandumlenkrollen, Kopfabdeckhaube, Andruckrolle und darüber die Tonrolle sind erkennbar. Vorn der Tastenschalter, links daneben die Regler für Lautstärke und Balance. Die 1000-m-Bandteller werden über Zwischenstücke auf die Original-Dreizackhalterungen aufgesetzt, so daß wahlweise nach Abnahme der Zwischenstücke auch übliche Bandspulen aller Größen aufzulegen sind (Bild 36).

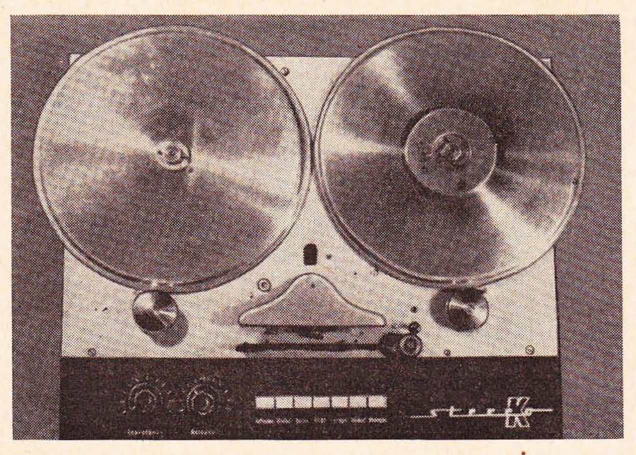


Bild 35 Aufsicht auf das Stereo-Tonbandgerät zum Selbstbau, hier mit aufgesetzten 1000-m-Bandtellern. Siehe Text

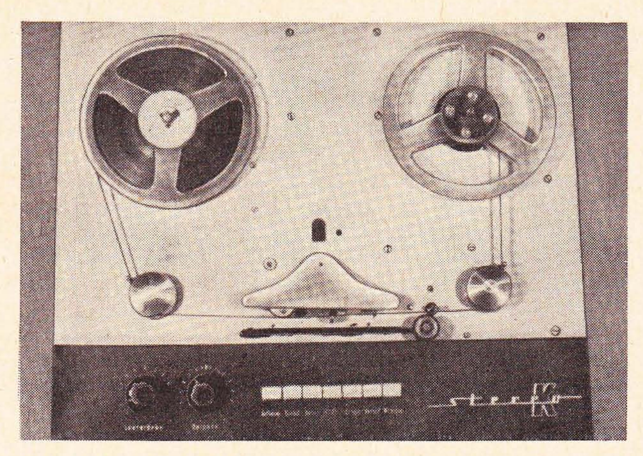


Bild 36 Das gleiche Gerät mit aufgesetzten 500-m-Spulen und eingelegtem Band. Der Bandlauf ist sehr einfach und übersichtlich gehalten

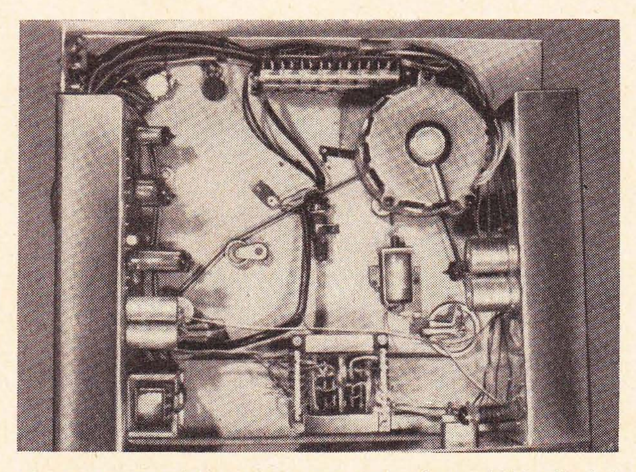


Bild 37 Unteransicht des Stereo-Bandgeräts. Seitlich die beiden hochkant stehenden Chassis, deren Unterseiten nach außen gekehrt sind. Die Verdrahtungskammern sind auch während des Betriebs leicht zugänglich

Bild 37 zeigt den mechanischen Aufbau des Laufwerks. Gut erkennbar der Tonmotor und der dreieckförmig verlaufende Antriebsriemen zu den Tellerlagern (im Foto rechts unten und halb verdeckt links unten), schräg unter dem Tonmotor der Andruckrollen-Zugmagnet, für den hier ein umgewickelter „Smaragd"-Zugmagnet benutzt wurde. Selbstverständlich können für alle Triebteile an Stelle der im Mustergerät benutzten auch modernere beziehungsweise gerade greifbare ähnliche Teile benutzt werden. – Über dem Tonmotor ist der Tastenschalter sichtbar. Die elektrische Einrichtung wurde auf zwei Längschassis aufgebaut, die seitlich hochkant am Laufwerk befestigt sind. Dadurch sind die Verdrahtungskammern bei in Arbeitsstellung stehender Maschine jederzeit zugänglich, diese Anordnung hat sich trotz des relativ großen Platzbedarfs des Geräts sehr gut bewährt. In Bild 37 ist links das Verstärkerchassis (Komplex des Bildes 32) zu sehen, rechts das Netzteilchassis (Bild 33), lediglich der Netztrafo wurde, um Brummeinstreuungen zu vermeiden, unmittelbar an der Hinterkante des Laufwerkes (Bild 37 unten) befestigt.

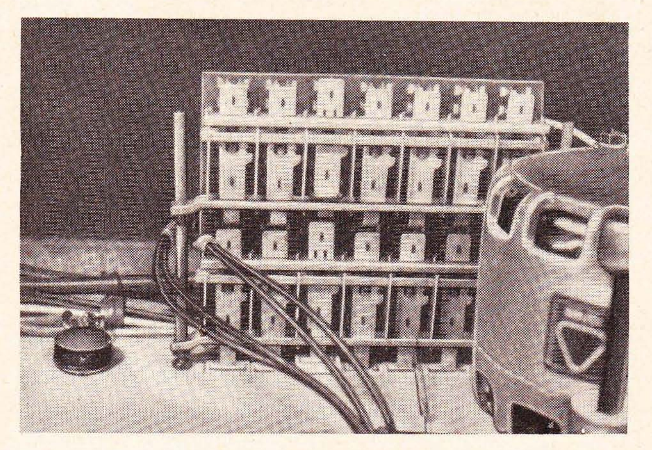


Bild 38 Kombination zweier üblicher Neumann-Tastenschalter. Siehe Text

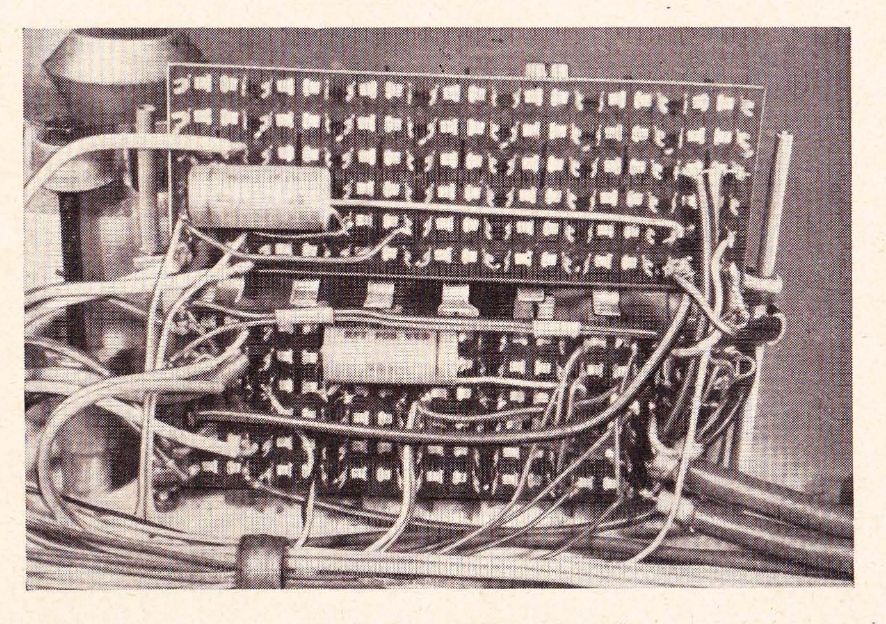


Bild 39 Verdrahtung am Tastenschalter des Stereo-Bandgeräts

Bild 38 zeigt den Tastenschalter. Wie Bild 34 erkennen läßt, werden je Taste bis zu 12 Kontakte benötigt. Da derartige Tastenschalter seinerzeit nicht greifbar waren, wurden hier zwei normale Neumann-Miniaturtastenschalter auf Abstandsrollen hintereinandergesetzt, wie Bild 38 deutlich zeigt. Vom hinteren Tastenschalter wurden die Kunststofftasten entfernt, die Schiebernippel umgebogen und die Sperrklinke in ausgeklinktem Zustand mit einem Splint arretiert, so daß die Tasten dieses Schalters nicht mehr einrasten. Sie werden jetzt durch den Schieber des vorderen Tastenschalters mitbetätigt. – Bild 39 zeigt die Verdrahtung am Tastenschalter. Da dort zahlreiche zum Teil brummkritische Leitungen eng zusammenlaufen, besteht Verkopplungsgefahr, weshalb alle in Frage kommenden Leitungen bis dicht an die Kontakte abgeschirmt verlegt werden müssen. Die in Bild 34 angegebene Kontaktbelegung sollte man aus dem gleichen Grunde so beibehalten. Besondere Abschirmungen am Tastenschalter sind dann entbehrlich.

Bild 40 zeigt die Anordnung der Köpfe. Es wurden zwei normale Halbspur-Kombiköpfe für Monobetrieb, um eine Spurweite gegeneinander höhenversetzt, benutzt (Originalköpfe des KB-100-Geräts). Jeder Kopf ist jetzt einer Spur zugeordnet. Die durch den Kopfabstand bedingte räumliche Versetzung der zeitlich zusammengehörenden Informationen beider Spuren macht sich lediglich beim Bandschnitt bemerkbar, indem Schnittstellen in Tonaufzeichnungen nicht mehr unhörbar möglich sind. Ansonsten bewährte sich dieser Weg jedoch völlig zufriedenstellend. In Bild 40 ist links der Vollspurlöschkopf zu sehen, danach folgen in Bandlaufrichtung die beiden Halbspurköpfe. Zwischen ihnen sitzt ein Bandandruckhebel, der für den erforderlichen Umschlingungswinkel an den Köpfen sorgt und durch den Hebel, auf dem die Andruckrolle sitzt, mitbetätigt wird.

Bild 41 zeigt den gleichen Aufbau, auf die Kopfspalte gesehen. Die um eine Spurbreite differierende Höhe beider Köpfe ist hier sehr deutlich zu erkennen. Beide Köpfe sitzen zwecks Justierung der Spaltstellung auf den üblichen „Taumelblechen“, ebenso wird der Lösch-

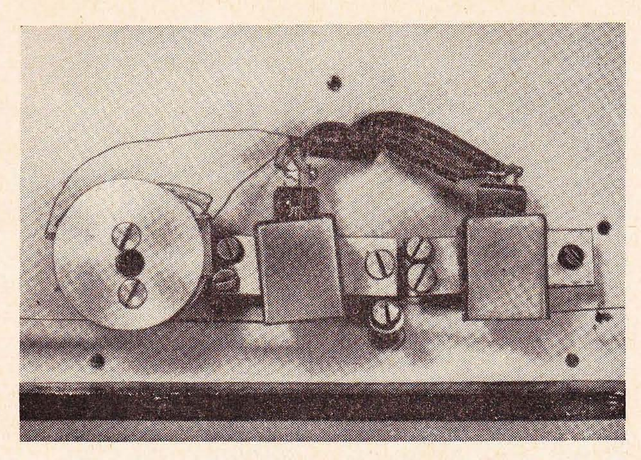


Bild 40 Das Bandgerät wurde, da kein Stereotonkopf verfügbar war, zunächst mit zwei normalen Halbspur-Mono-Köpfen ausgerüstet. Das Bild zeigt die Kopfanordnung. Links der für beide Spuren gemeinsame Vollspurlöschkopf

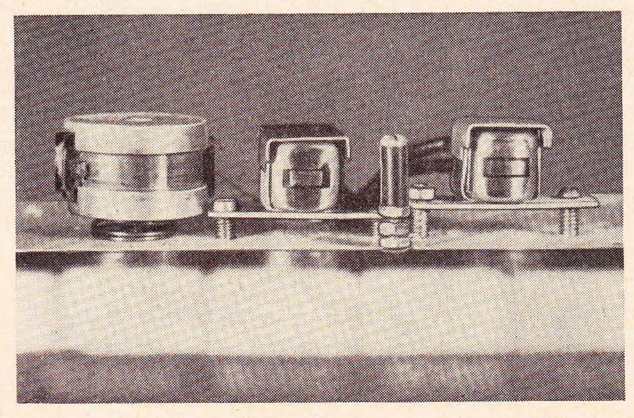


Bild 41 Sicht auf die Kopfspalte der um eine Spurbreite gegeneinander versetzten Halbspurköpfe. Der Höhenunterschied sowie die Befestigung der Köpfe auf den Kopfträger-Justierblechen sind gut erkennbar

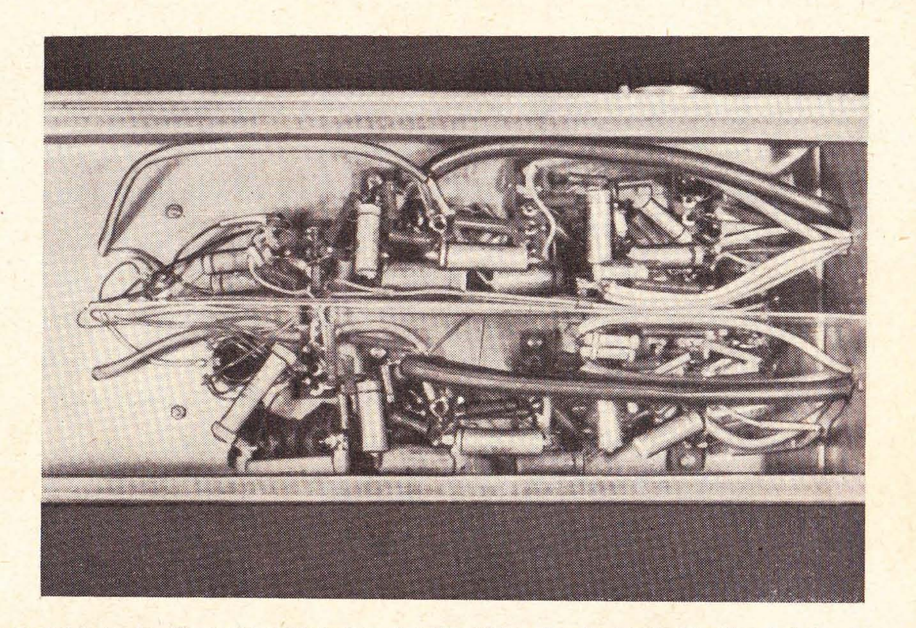


Bild 42 Blick in die Verdrahtungskammer des Verstärkerchassis. Beide Kanäle sind durch eine Zwischenwand gegeneinander abgeschirmt und streng symmetrisch aufgebaut

kopf eingetaumelt. Diese „unvorschriftsmäßige" Verwendung von Halbspurmonoköpfen ist natürlich nur bei solchen Tonköpfen möglich, die keine eingeschliffene Bandführung haben. Die Köpfe werden demgemäß so justiert, daß der für die obere Bandspur „zuständige" Kopfkern gerade knapp sichtbar über die Bandoberkante, der untere Kopf ebenso über die untere Bandkante hinausragt. Zwischen beiden Spuren besteht dann noch ein genügender Sicherheitsabstand. Beim Mustergerät konnte mit diesem Aufbau ein Übersprechabstand von Kanal zu Kanal von nahezu 50 dB erreicht werden, ein Wert, der mit Stereokombiköpfen kaum erreichbar, praktisch allerdings auch nicht erforderlich ist. Im übrigen können die beiden Halbspur-Mono-Kombiköpfe nachträglich mühelos gegen einen Stereokombikopf ausgewechselt werden, sobald dieser zur Verfügung steht. Das bedingt lediglich die – hier sehr einfache – Änderung der Kopfträgerplatte.

Bild 42 zeigt noch einen Blick in die Verstärkerverdrahtungskammer. Beide Kanäle wurden hier wegen

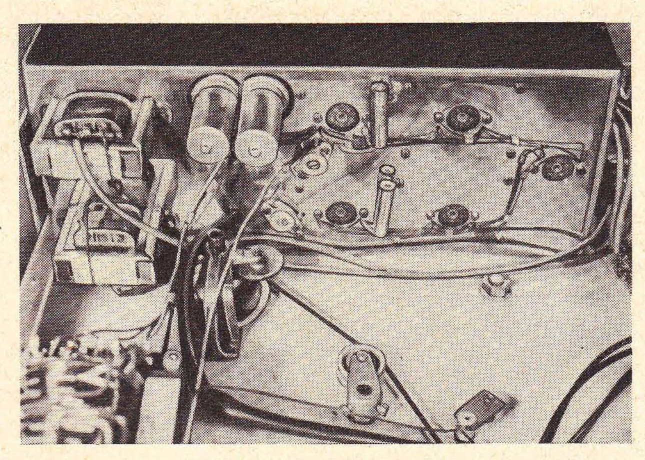


Bild 43 Aufsicht auf das Verstärkerchassis. Die auf der Chassisoberfläche neben den Röhrenfassungen verlaufenden Heizleitungen sind gut erkennbar. Links im Bild die Ausgangsübertrager

des gedrängten Aufbaus durch eine Trennwand gegeneinander abgeschirmt und sind auch wieder völlig symmetrisch aufgebaut. Um Brummeinstreuungen von den Heizleitungen zu vermeiden, wurde wieder der bewährte Weg beschritten, die Heizleitungen unmittelbar am Sockel zur Chassisoberseite durchzuführen und oberhalb des Chassis zu verlegen. Bild 43 zeigt die Aufsicht auf das Verstärkerchassis, der Heizleitungsverlauf ist neben den Fassungen der — hier entfernten — Röhren gut zu sehen. Links auf dem Chassis sind die beiden Ausgangsübertrager sichtbar.

5. Stereo-Trickgeräte

Die folgenden drei Geräte sollen Anregungen für eigene Experimente geben und zeigen gleichzeitig einige für die Stereotechnik typische Schaltungsmethoden. Es werden hier nur die Schaltungen behandelt, die unmittelbar zum Nachbau geeignet sind. Da der Aufbau im übrigen genau nach den allgemein für NF-Verstärker üblichen Gesichtspunkten erfolgt und auch die Stromversorgung nicht von dem in der Monotechnik Üblichen abweicht, erübrigen sich nähere Ausführungen. Diese Geräte bedingen ohnehin als Zusatzgeräte das Vorhandensein einer Stereoanlage mit Stereo-Bandgerät, die nur für den im Selbstbau erfahrenen Amateur in Frage kommen. Darüber hinaus sind diese Schaltungen aber auch rein von ihrer Wirkungsweise her interessant. Sie wurden sämtlich vom Verfasser entwickelt und im Versuchsaufbau erprobt. Bei der Beurteilung der Brauchbarkeit darf man nicht die strengen Maßstäbe der Studiotechnik anlegen, weil dann der Aufwand für Amateure zu groß ist und außerdem die Verwendung kaum beschaffbarer Spezialteile bedingt. Die hier gezeigten Schaltungen erfüllen jedoch alle vom Amateur gestellten Ansprüche vollauf.

5.1. Richtungseffektmischer für A-B- und X-Y-Stereofonie

Eine echte Richtungsmischung ist nur nach Umwandlung des Stereosignals in ein M-S-Signal beziehungs-

weise unter Verwendung von Spezialreglern möglich, die nicht im Handel erhältlich sind. Ein gehörmäßig sehr ähnlicher Effekt läßt sich jedoch, wenn man einige Vereinfachungen in Kauf nimmt, bereits mit dem relativ einfachen Zusatzgerät nach Bild 44 erreichen.

Eine scheinbare Richtungsänderung einer Schallquelle kann durch gegenläufige Veränderung beider Kanalpegel erreicht werden, in gewissen Grenzen gelingt das bereits mit dem bei Stereoverstärkern üblichen Balanceregler. Das gleiche Prinzip wird hier benutzt. Regler P 1 ist der Richtungsregler. In Mittelstellung von P 1 ist eine in Basismitte aufgenommene Schallquelle — die bei normaler Stereowiedergabe demgemäß in Basismitte hörbar wird — ebenfalls in Basismitte hörbar. Durch Verstellen von P 1 kann sie nach beiden Seiten bis zur Basisgrenze verschoben werden, wobei in Endstellung von P 1 der jeweilige Kanal gegen Masse kurzgeschlossen ist, die Quelle also nur noch über den anderen Kanal hörbar wird, was dem Extremfall eines Seiteneffekts entspricht. Dazwischen sind alle Zwischenstellungen einstellbar, so daß man mit P 1 eine Schallquelle beliebig von einer Seite zur anderen „wandern" lassen kann. Mit Schalter S 1 a,b ist ein Vertauschen beider Kanäle möglich, was einer spiegelbildlichen Wiedergabe des Klangbildes entspricht. Die bei der Aufnahme rechts befindlichen Schallquellen werden dann links hörbar und umgekehrt.

Der Tandemregler P 2 a,b dient zur Regelung der scheinbaren Basisbreite. Der Gleichlauf beider Regler P 2 a und P 2 b ist hier relativ unkritisch, so daß dieser Regler auch durch die Kopplung zweier Einzelregler (über Seilzug o. ä.) selbst angefertigt werden kann. In Schleiferendstellung E dieses Reglers ist die ursprüngliche maximale Basisbreite vorhanden. Werden die Schleifer nach oben in Stellung A bewegt, so wird über P 2 a der Massepunkt des Schleifers für P 1 „hochgelegt". An diesem beiden Kanälen gemeinsamen Widerstand des Reglers P 2 a kommt es dann zu einer teilweisen Mischung beider Kanäle (Verringerung der Übersprechdämpfung), wodurch der Richtungseffekt je nach Stellung von P 2 mehr oder weniger aufgehoben

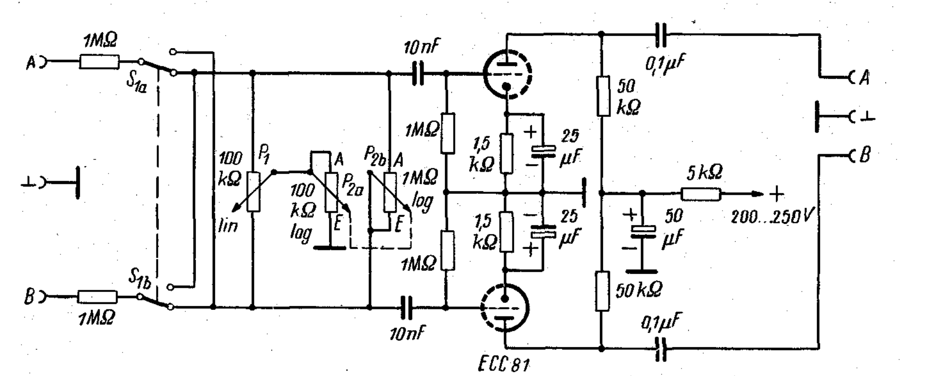


Bild 44 Schaltung eines einfachen Richtungseffektmischers. P 1: Richtungsregelung; P 2 a, b: Basisbreitenregler; S 1 a, b: Seitenwechsel (spiegelbildliche Abbildung). Dieses einem normalen Stereoverstärker oder Stereo-Bandgerät vorzuschaltende Zusatzgerät liefert keine wesentliche zusätzliche Verstärkung. Siehe Text

wird. Dies bewirkt zwar keine echte Verringerung der Basisbreite, vielmehr scheint das Klangbild einer auf der Basislinie abgebildeten Schallquelle auseinanderzufließen, es wird gedehnt und damit richtungsmäßig schwerer lokalisierbar. Gehörmäßig ist dieser Effekt dem einer echten Basisbreitenverringerung vor allem dann sehr ähnlich, wenn man die scheinbare Richtung gleichzeitig mit P 1 seitlich verschiebt. Der mit P 2 a gekoppelte Regler P 2 b verhütet einen durch P 2 a verursachten unerwünschten Pegelanstieg bei der Regelung. Aus Dimensionierungsgründen ist letzteres allerdings nicht ganz exakt erreichbar, die verbleibende Pegelschwankung bei der Regelung bleibt jedoch in tragbaren Grenzen. Sobald P 2 den oberen Anschlag A erreicht hat, ist die Basis praktisch zu einem – gehörmäßig nicht vollständigen – „Punkt" zusammengeschrumpft, da beide Kanäle dann parallelgeschaltet sind. Mit P 1 kann auch in diesem Extremfall der scheinbare Ort der Schallquelle von einer Seite (entspricht monauralem Betrieb mit nahezu punktförmiger Abbildung) über die Mitte (hier wirkt das Klangbild zerflossen und nicht genau lokalisierbar, aber ohne jeden Richtungseffekt) zur anderen Seite (wieder nahezu punktförmige Abbildung) verschoben werden. Diese Effektmöglichkeiten reichen für viele Fälle bereits aus. Die nachgeschalteten Verstärkerstufen (je Kanal ein Triodensystem) gleichen die durch den Reglerzusatz verursachte Grunddämpfung aus, das Zusatzgerät ergibt also keine nennenswerte zusätzliche Verstärkung. Es wird dem Eingang des Stereo-Bandgeräts oder Stereoverstärkers vorgeschaltet, liegt also unmittelbar hinter den Mikrofonverstärkern. Wegen des geringen Stromverbrauchs kann es eventuell vom Netzteil des Bandgeräts oder Verstärkers mitgespeist werden.

5.2. Mischzusatz für pseudostereofonische Effekte

Im Abschnitt B 1.4. wurden bereits die interessanten Möglichkeiten erwähnt, die sich aus der Verwendung monauraler Aufnahmen für Stereoaufzeichnungen ergeben. Ein für diesen Zweck bestimmtes Mischgerät

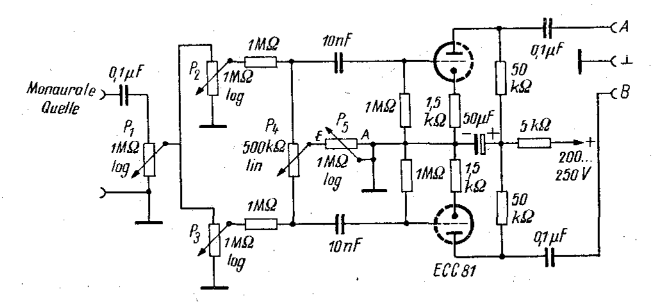


Bild 45 Mischeinrichtung für pseudostereofonische Effekte unter Verwendung einkanaliger Aufnahmen in Stereoanlagen. P 1: Grundpegel (Summenpegel und Aufblenderegler); P 2, P 3: Seitenkanal-Teilpegel; P 4: Seitenverschiebung; P 5: Basisbreitenregler (Mitteneffektregler). Siehe Text. Dieses Zusatzgerät liefert keine zusätzliche Verstärkung

zeigt Bild 45. Der Ausgang des Mischgeräts führt entweder direkt zum Stereo-Bandgerät oder zu einem der mischbaren Stereoeingänge eines Stereoverstärkers. Letzteres ist erforderlich, wenn die Pseudo-Stereoaufnahme gleichzeitig mit einer echten Stereoaufnahme gemischt werden soll. Man kann dann — wenn das Bandgerät oder der Verstärker nur einen Eingang aufweisen — auch dem Pseudo-Stereo-Mischer noch eine normale Stereo-Mischanordnung nachschalten, die prinzipiell ebenso wie ein übliches Mono-Mischgerät aus zwei über Entkopplungswiderstände parallelgeschalteten Stereo-Tandemreglern besteht. Mit diesen kann dann die echte Stereoaufzeichnung zum Beispiel von den Aufnahmemikrofonen und die vom Pseudo-Stereo-Mischerausgang gelieferte Spannung gemischt werden. Da dieser Vorgang dem aus der Monotechnik Geläufigen entspricht, bedarf er keiner besonderen Erläuterungen.
Auch das Gerät nach Bild 45 liefert keine zusätzliche Verstärkung, die Doppeltriode holt auch hier lediglich die durch die Regelglieder verursachten Pegelverluste auf. Für die Stromversorgung gilt im übrigen alles im vorigen Abschnitt Gesagte.
Die Schaltung hat weitgehend Ähnlichkeit mit der nach Bild 44. Die von der monauralen Quelle gelieferte

Spannung wird zunächst dem „Summenpegelregler" P 1 zugeführt, der die Grundlautstärke regelt und zum Beispiel zum Aufblenden des Geräusches benutzt werden kann. Über die Teilpegelregler P 2 und P 3 wird die Spannung auf beide Kanäle aufgeteilt, je nach Einstellung und Differenz der Stellungen dieser beiden Regler scheint die Schallquelle in der Wiedergabe mehr rechts, links oder – bei gleicher Stellung beider Regler – breit über den Mittelpunkt auseinandergezogen zu stehen.
Die Regler P 4 und P 5 haben hier ähnliche Funktion und Wirkung wie P 1 und P 2 in Bild 44. Mit P 4 ist eine Seitenverschiebung der Schallquelle bei gleichbleibend voreingestellten Reglern P 2 und P 3 möglich. Sind diese verschieden eingestellt, so scheint die Schallquelle beim Drehen von P 4 von der einen in die andere Endstellung schräg von links vorn nach rechts hinten beziehungsweise sinngemäß umgekehrt zu wandern. Mit P 5 ist wieder, wie im vorigen Abschnitt erwähnt, eine scheinbare Veränderung der Basisbreite und des Mitteneindrucks erreichbar. Insgesamt kann also durch geschickte Bedienung der Regler Ort und Charakter des Erscheinens der Monoquelle im Stereoklangbild sowie ihre Bewegung im Wiedergabeklangbild nahezu beliebig variiert werden.

5.3. Der M-S-Stereo-Trickmischer

Abschließend soll noch eine etwas aufwendigere Schaltung beschrieben werden, die im Gegensatz zu den vorangegangenen Schaltungen eine echte und gegenseitig unbeeinflußte Regelung von Basisbreite und Richtung ermöglicht. Sie lehnt sich an eine prinzipiell ähnliche Schaltung der Stereo-Studiotechnik an, kommt aber im Gegensatz zu dieser ohne Spezialbauteile aus, was allerdings durch erhöhten Röhrenaufwand ermöglicht wird. Das Gerät benötigt immerhin 4 Röhren, liefert aber wie die vorangegangenen keine zusätzliche Verstärkung und wird wie diese in den Übertragungszug eingeschaltet.
Das Prinzip beruht auf der Umwandlung des A-B-Signals in ein M-S-Signal. Wie früher bereits erläutert

(Abschnitt A 2.), stellt das M-Signal das Summensignal A + B dar, das S-Signal ist das Differenzsignal A – B und für den Richtungseffekt verantwortlich. In der Stereo-Studiotechnik wird daher der M-Kanal häufig auch als „Tonkanal", der S-Kanal als „Richtungskanal" bezeichnet. Das Signal M entspricht vollständig einem monauralen Signal, wie es beispielsweise bei Parallelschaltung beider Kanäle A und B und Anschluß einer Monoquelle auftritt. Das S-Signal dagegen ist für sich allein nicht verwendbar beziehungsweise wenn der Schall genau von vorn aufgenommen wird (Basismitte der Aufnahmeebene im A-B-System, siehe dazu auch die Bilder 2 und 3), ist das S-Signal gleich Null, das heißt, nicht vorhanden. Seine Phasenlage zum M-Signal gibt die Seitenabweichung der Schallquelle an, sein Betrag die Größe des Seitenwinkels. Daraus ergibt sich aber, daß sowohl Basisbreite als auch Richtung allein durch Veränderung des S-Signals beeinflußt werden können: Wird der Betrag der Spannung des S-Signals erhöht oder verringert, so ergibt das in der Wiedergabe eine scheinbare Vergrößerung oder Verkleinerung des Seitenwinkels, das heißt, eine Änderung der scheinbaren Basisbreite der Abbildung bei der Wiedergabe (bildlich vergleichbar etwa einer Änderung des Öffnungswinkels z. B. des X-Y-Mikrofons in Bild 7a). Führt man dem S-Kanal dagegen zusätzlich ein Teil der Spannung aus dem M-Kanal zu, so kommt im S-Kanal eine Addition M + S zustande, woraus nach dem früher Gesagten resultiert, daß im S-Kanal jetzt ein verstärkter Anteil A auftritt. Das aber bedeutet nichts anderes als eine Änderung der vom S-Kanal übermittelten Richtungsinformation in Richtung auf den A-Kanal. Hierbei wird also die scheinbare Schallquellenrichtung ohne Änderung der Basisbreite verschoben. Beabsichtigt man eine gegenläufige Verschiebung, dann ist das M-Signal in gegenläufiger Phase dem S-Kanal zuzuführen, so daß es zur Addition – M + S kommt. Damit überwiegt der Kanalanteil B. Bei der so erzielten Richtungsänderung wird also einer der Kanalanteile des S-Signals gegenüber dem anderen hervorgehoben, der Betrag der Richtungsänderung

hängt dann vom Betrag des zu diesem Zweck zugeführten M-Anteils, die Seite der Abweichung von der Phasenlage des M-Anteils ab. Die Basisbreite wird dagegen durch gleichmäßige Änderung beider Komponenten A und B des S-Signals, einfach ausgedrückt also durch dessen Pegeländerung, erzielt.
Bild 46 veranschaulicht das Schaltungsprinzip eines solchen Trickmischers. Die von den Mikrofonen gelieferten Kanalanteile A und B werden einem Koordinatentransformator zugeführt, in dem die elektrische Addition und Subtraktion zwecks Bildung des M- und S-Signals erfolgt. Wird bei der Aufnahme ein M-S-Mikrofon benutzt (Bild 3), so kann diese erste Koordinatentransformation entfallen. Das Summensignal A + B = M und das Differenzsignal A − B = S werden über einen gemeinsamen Pegelregler (Tandemregler) geführt, den man zweckmäßig organisch mit dem Richtungsmischer vereinigt. Danach folgt im S-Kanal ein zweiter Regler, mit dem die Basisbreite entsprechend dem zuvor Gesagten einstellbar ist. Anschließend wird vom M-Kanal (schematisch dargestellt) ein Teilbetrag abgezweigt und dem S-Kanal zugeführt. Der Betrag dieses eingekoppelten M-Anteils ist mit dem Richtungsregler R einstellbar. Mit demselben Regler muß jedoch auch die Phasenlage regelbar sein, um eine Richtungsregelung nach beiden Seiten durchführen zu können. Bild 47 zeigt eine prinzipielle Möglichkeit hierfür. Das M-Signal wird einem Übertrager mit sekundärseitiger Mittelanzapfung zugeführt. In Mittelstellung des Richtungsreglers ist dann die abgegriffene Spannung gleich Null, in beiden Endstellungen dieses Reglers erreicht sie den gleichen Maximalwert, jedoch mit um 180° verschiedenen Phasen. In dieser

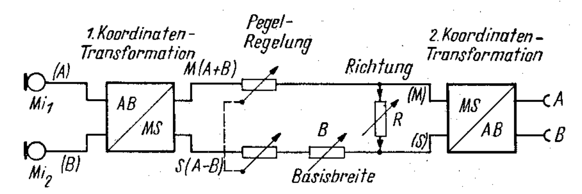


Bild 46 Zum Prinzip des M-S-Stereo-Trickmischers. Siehe Erklärung im Text

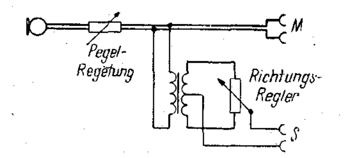


Bild 47
Prinzipielle Möglichkeit zur Ableitung einer nach Betrag und Phase regelbaren Teilspannung aus dem Summenkanal M. Erklärung im Text

Schaltung entspricht die Mittelstellung des Richtungsreglers daher folgerichtig der Mittelstellung des Wiedergabe-Schallfeldes. Praktisch wird man für diese Schaltung jedoch keine Übertrager benutzen, da diese zusätzliche Übertragungsfehler einbringen würden.

Das so veränderte S-Signal gelangt zusammen mit dem M-Signal in einen zweiten Koordinatentransformator (Bild 46), wo durch nochmalige Addition und Subtraktion beider Signale die Rückumsetzung in das für die Wiedergabe benötigte Links-Rechts-Signal A—B erfolgt.

Bild 48 zeigt die Gesamtschaltung eines nach diesem Prinzip aufgebauten echten Stereorichtungs- und Basisbreitenmischers. Dem oberen Eingang werden die beiden Seitensignale A und B oder – was elektrisch das gleiche ist – X und Y zugeführt. Rö 1 a und Rö 1 b arbeiten als Phasenumkehrstufen. Aus beiden Katoden werden die Seitensignale ausgekoppelt und gemeinsam über Entkopplungswiderstände dem Regler P 1 a zugeführt. Da beide Signale gleichphasig sind, kommt es hier zur Addition beider, das heißt, an P 1 a tritt das Summensignal M auf. Anders bei P 1b. Diesem Regler wird das Seitensignal des einen Kanals ebenfalls von der Katode, das des anderen Kanals jedoch von der Anode zugeführt, beide sind hier also gegenphasig, so daß es zur Subtraktion und damit zur Bildung des Differenzsignals S an P 1 b kommt. Bei Verwendung eines M-S-Mikrofons können dessen Signale unter Umgehung der ersten Koordinatentransformation mit Rö 1 a,b direkt den Reglern P 1 a,b zugeführt werden. Dieser M-S-Eingang bietet darüber hinaus noch eine weitere Möglichkeit: Durch Anschluß einer monauralen Quelle an den M-Eingang kann man diese ebenfalls pseudostereofonisch abbilden, das heißt, mit dem Richtungsregler beliebig auf der Basislinie verschieben. Aus Bild 46 und 47 wird das sofort erkennbar, wenn man berücksichtigt, daß eine bei M angeschlos-

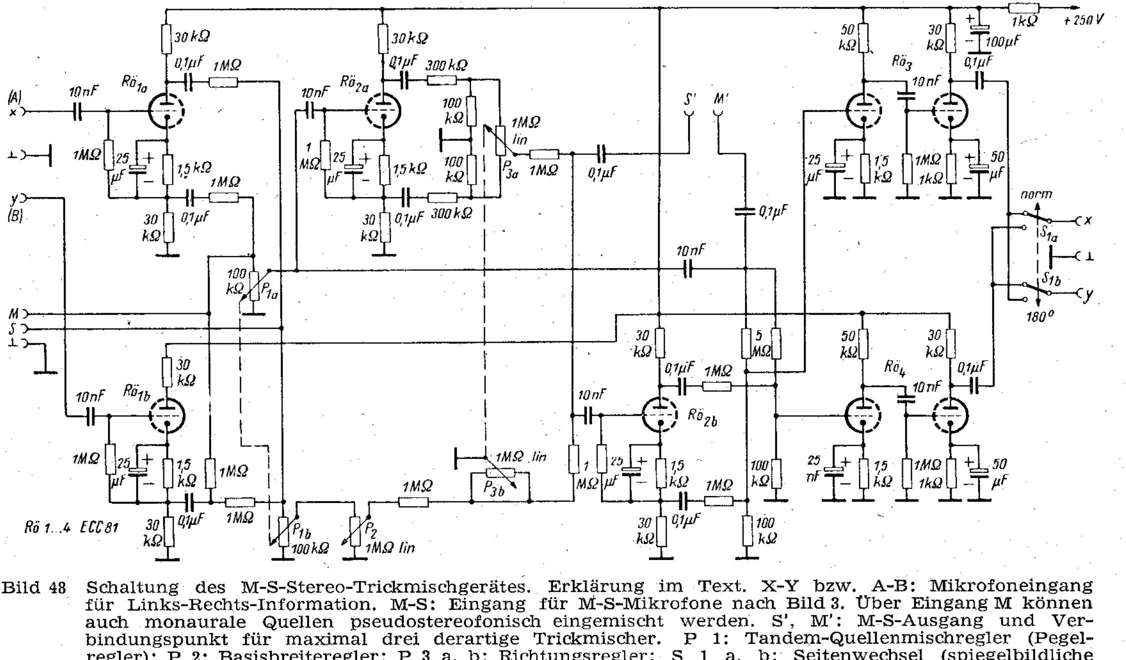


Bild 48 Schaltung des M-S-Stereo-Trickmischgerätes. Erklärung im Text. X-Y bzw. A-B: Mikrofoneingang für Links-Rechts-Information. M-S: Eingang für M-S-Mikrofone nach Bild 3. Über Eingang M können auch monaurale Quellen pseudostereofonisch eingemischt werden. S', M': M-S-Ausgang und Verbindungspunkt für maximal drei derartige Trickmischer. P 1: Tandem-Quellenmischregler (Pegelregler); P 2: Basisbreiteregler; P 3 a, b: Richtungsregler; S 1 a, b: Seitenwechsel (spiegelbildliche Abbildung)

sene monaurale Quelle elektrisch das gleiche ist wie eine Stereoquelle mit fehlendem Richtungssignal S. Sie kann daher ebenfalls mit dem Richtungsregler verschoben, aber stets nur punktförmig abgebildet werden, da das für die Basisbreite maßgebliche S-Signal völlig fehlt.

Regler P 1a und P 1b in Bild 48 sind gekoppelt (Tandemregler) und stellen den Pegelregler dar. Im S-Kanal folgt dahinter P 2, der den Basisbreiteregler darstellt.

Vom M-Signal wird hinter P 1a ein Anteil abgezweigt und an die Phasenumkehrstufe Rö 2a gegeben, die hier die Funktion des Übertragers in Bild 47 erfüllt. Von Katode und Anode werden gleich große, aber gegenphasige und zueinander erdsymmetrische Spannungen ausgekoppelt und dem Richtungsregler P 3a zugeführt. In dessen Mittelstellung ist demzufolge die Spannung an seinem Schleifer gleich Null. Die von P 3 a abgegriffene Teilspannung wird nun zusammen mit dem S-Signal einer weiteren Phasenumkehrstufe (Rö 2 b) zugeleitet, die wiederum die für die nachfolgende zweite Koordinatentransformation erforderlichen gegenphasigen S-Anteile bereitstellt. An den 100-kΩ-Gitterableitwiderständen der linken Systeme der Rö 3 und Rö 4 erfolgt dann die Addition $M + S = A$, beziehungsweise Subtraktion $M - S = B$ in der eingangs erklärten Weise. Die 2stufige Nachverstärkung mit Rö 3 und Rö 4 holt jeweils wieder die dimensionierungsbedingten, hier beträchtlichen Pegelverluste auf.

Eine notwendige Zusatzeinrichtung wurde noch nicht erwähnt: Bei einer Richtungsregelung muß man berücksichtigen, daß ein Klangbild nicht über die Endpunkte der Wiedergabebasis hinaus verschoben werden kann. Bei der erreichten Richtungsänderung mit konstant bleibender Basisbreite ist dieser Fall jedoch leicht denkbar. Es muß daher dafür gesorgt werden, daß die Basisbreite bei der Richtungsregelung automatisch verringert wird und im Extremfall — bei Seitenverschiebung auf einen Endpunkt der Basislinie — zu einem Punkt zusammenschrumpft. Die Basisbreite verringert man automatisch durch das mit dem

Richtungsregler P 3a gekoppelte Potentiometer P 3b, die beide einen Tandemregler bilden. An diesen sind jedoch keine übermäßig großen Gleichlaufforderungen zu stellen, so daß ein Selbstbau möglich ist. Wie erkennbar, wird der S-Kanal in beiden Endstellungen des Richtungsreglers kurzgeschlossen, in der Zwischenstellung hängt die Höhe des S-Signals von der Spannungsteilung zwischen dem linken 1-MΩ-Vorwiderstand und dem jeweiligen Wert von P 3b ab, womit man den gewünschten Effekt erreicht.

Am Ausgang des Geräts wird wieder das seitenbezogene A-B- beziehungsweise X-Y-Signal abgegeben. Für einen Seitenwechsel (spiegelbildliche Abbildung) sind auch hier beide Kanäle mit S 1 a,b vertauschbar. Zusätzlich weist das Gerät noch einen Ausgang M', S' auf, an dem das geregelte M-S-Signal abnehmbar ist. Über Ausgang M' kann daher ein vollständiges Monosignal für beliebige Zwecke (z. B. gleichzeitige Herstellung einer Monobandaufnahme parallel zur Stereoaufnahme) abgenommen werden, das von der nur im S-Kanal erfolgenden Basisbreite- und Richtungsregelung unbeeinflußt bleibt. Vor allem aber können an den Punkten M' und S' bis zu drei derartige Trickmischer parallelgeschaltet werden, wobei die zweite Koordinatentransformation und Nachverstärkung mit Rö 2b, Rö 3 und Rö 4 allen drei Eingängen gemeinsam ist. Es kann so mit nur sieben Doppeltrioden (bei M-S-Mikrofonen nur vier Doppeltrioden) ein vollständiges 3-Quellen-Stereo-Trickmischpult aufgebaut werden, was natürlich nur beim Vorhandensein der entsprechenden Anzahl von Stereomikrofonen sinnvoll ist. Die Eingangsspannung jedes Kanals muß dann etwa 1 V aufweisen, die Ausgangsspannung des Trickmischers liegt bei 1,5 V. Mit den P 1-Reglern erfolgt die übliche Quellenmischung, wobei jede Quelle für sich mit dem zugehörigen Basis- und Richtungsregler beeinflußt werden kann. Schalter S 1 wird dann zweckmäßig in den Eingang jeder Quelle verlegt.

Mit diesem Trickmischer können wir verblüffende Effekte erzielen. So läßt sich zum Beispiel das Geräusch eines sich vor der Schallquelle öffnenden Vorhangs imitieren, wenn wir den Pegelregler und den Richtungs-

beziehungsweise den Basisbreiteregler gleichzeitig betätigen. Auf diese Weise kann man ein Öffnen des Vorhangs von links nach rechts oder umgekehrt oder auch ein Auseinandergleiten des Vorhangs von der Mitte nach beiden Seiten imitieren. Wenn dieser Aufwand auch für den einzelnen Amateur relativ hoch ist, so wird man jedoch bei der Einrichtung von Stereo-Studios in Klubhäusern, Arbeitsgemeinschaften und so weiter den Bau dieses Trickmischers erwägen. Darüber hinaus veranschaulicht diese Schaltung auch die in der kommerziellen Studiotechnik beschrittenen grundsätzlich neuen Wege, die die Stereofonie auch dort mit sich bringt.

6. Einstellung und Messung von Stereoanlagen

Verstärkeranlagen, Bandgeräte und so weiter für herkömmlichen monauralen Betrieb werden üblicherweise lediglich auf Frequenzgang und Klirrfaktor, bei umfangreicheren Anlagen noch auf die Pegelverhältnisse hin untersucht. Der Frequenzgang interessiert dabei nur hinsichtlich der Klangqualität, der Phasengang der Anlage meist überhaupt nicht. – Für Stereoanlagen kommen einige weitergehende Untersuchungen hinzu, die durch die strenge Forderung nach genauer Übereinstimmung beider Kanäle bedingt werden. Insbesondere gilt das für die in der Regel vorhandenen Kanäle, die eine A-B-Information übertragen, weil Differenzen unmittelbar als Verfälschung des Stereoeindrucks merkbar werden. Bei M-S-Kanälen liegen diese Verhältnisse ein wenig günstiger, da sich Kanaldifferenzen auf beide Kanäle auswirken, also allenfalls zur Verfälschung der Basisbreite und eventuell der Richtung führen können, jedoch weniger schnell den vollständigen Stereoeindruck zerreißen. Auftretende Störungen, Fremdgeräusche und ähnliches in einer M-S-Übertragung treten in der Wiedergabe in beiden Kanälen zugleich in Erscheinung. Sie werden damit über die ganze Wiedergabebasis diffus verteilt und stören so weniger als bei A-B-Kanälen, wo man sie jeweils nur in dem gestörten Kanal hört. Die folgenden Betrachtungen beziehen sich daher – und

weil beim Amateur die A-B-Übertragung die Regel ist – ausschließlich auf A-B-Kanäle.

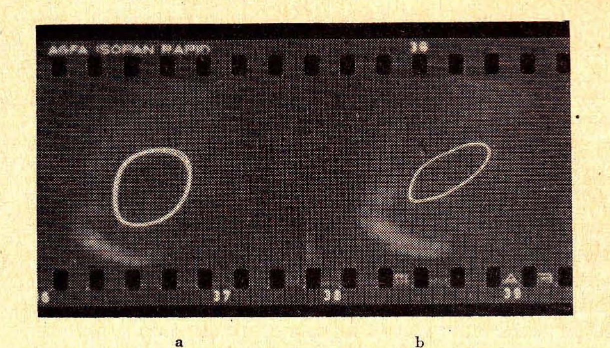
An die beiden Kanäle jedes Verstärkers, Tonbandgeräts und so weiter muß die Forderung nach Gleichheit beider Verstärkungen, Frequenzgänge und Phasengänge gestellt werden. Die Verstärkungsgleichheit läßt sich einfach prüfen beziehungsweise einstellen, indem man beide Eingänge parallelschaltet und die Kanäle dann auf gleiche Ausgangsspannung einregelt. Die Messung von Klirrfaktor und Fremdspannungsabstand wird für jeden Kanal einzeln vorgenommen und wie bei den entsprechenden Messungen an Monoanlagen durchgeführt. Klangregler stehen hierbei grundsätzlich in Mittelstellung beziehungsweise der für linearen Frequenzgang gültigen Stellung, Balanceregler ebenfalls – besonders beim Vergleich der Kanalverstärkungen – in Mittelstellung. Von Interesse ist weiterhin die Übersprechdämpfung beider Kanäle. Man versteht hierunter das „Übertreten" der Modulation eines Kanals in den anderen. Die zu stellenden Forderungen sind nicht allzu streng, eine Übersprechdämpfung von 30 dB für normale Stereoverstärker ist als ausreichend anzusehen und bei einwandfreiem Aufbau mühelos erreichbar. Gemessen wird die Übersprechdämpfung, indem wir einen Kanaleingang mit der für Vollaussteuerung erforderlichen Eingangsspannung beaufschlagen, während der andere Kanaleingang offen bleibt. Am Ausgang des „offenen" Kanals mißt man jetzt die vom ausgesteuerten Kanal übertretende Ausgangsspannung und setzt sie zur Ausgangsspannung des ausgesteuerten Kanals ins Verhältnis. Für Amateurzwecke reicht eine gehörmäßige Überprüfung aus (Lautsprecher des ausgesteuerten Kanals abschalten). Ebenso kann der Amateur im allgemeinen auf die Klirrfaktormessung verzichten und auch den Fremdspannungsabstand rein gehörmäßig beurteilen. Unerläßlich sind dagegen die Messung der Verstärkungsgleichheit beider Kanäle, wozu neben einem Tongenerator ein für die Messung der jeweiligen Ausgangsspannung geeignetes Instrument (möglichst Röhrenvoltmeter) erforderlich ist, und die Prüfung des Phasengangs beider Kanäle. Diese wird zweckmäßig

oszillografisch vorgenommen und erübrigt gleichzeitig die Messung des Frequenzgangs, dessen alleinige Ergebnisse für Stereoanlagen nicht allzuviel besagen. Dagegen kann angenommen werden, daß ein Stereoverstärker mit einem für beide Kanäle gleichen Phasengang auch hinreichende Übereinstimmung des Frequenzgangs zeigt.

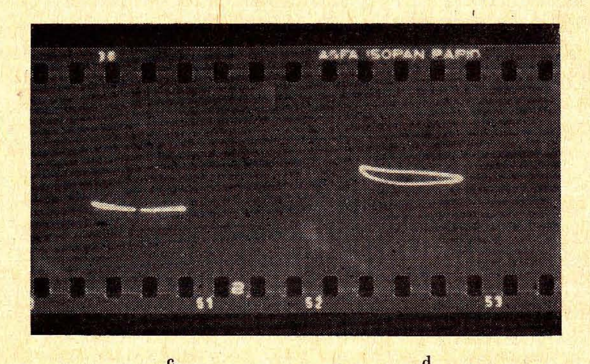
Für die Phasengangkontrolle sind ein durchstimmbarer Tongenerator und ein Oszillograf erforderlich. Es genügt, die Messung als relative Vergleichsmessung durchzuführen. Hierzu werden wieder beide Kanaleingänge parallelgeschaltet und vom Tongenerator gespeist. Die Ausgangsspannungen der Kanäle werden dem Oszillografen getrennt zugeführt, dessen Zeitablenkung abgeschaltet wird. Die Ausgangsspannung des einen Kanals führt man jetzt dem X-Eingang, die des anderen Kanals dem Y-Eingang des Oszillografen zu, wobei der Oszillograf so einzustellen ist, daß beide Eingänge die gleiche Empfindlichkeit haben. Bei Phasengleichheit zeigt sich auf dem Oszillografen ein schräger Strich. Wenn beide Kanäle gleichphasig arbeiten (anderenfalls ist einer der Ausgänge umzupolen!), verläuft der Strich von links unten nach rechts oben. Weisen beide Eingänge des Oszillografen gleiche Empfindlichkeit auf und stimmt die Verstärkung beider Kanäle überein, dann ist er um 45° geneigt. Phasendifferenzen äußern sich in einem Auseinanderziehen des Striches zu einer Ellipse. Aus dem Verhältnis der großen zur kleinen Achse der Ellipse läßt sich der Winkelbetrag des Phasenfehlers bestimmen. Für die Praxis genügt es, wenn der Strich nur so weit auseinandergezogen wird, daß er zwar Doppelkonturen, aber noch keine ausgeprägte Ellipsenform erreicht. Dies wird bei allen Frequenzen innerhalb des Übertragungsbereichs überprüft, wozu man den Tongenerator langsam über das ganze Frequenzband durchstimmt. Angenehm bei dieser Methode ist, daß sich dabei ohne weitere Vorkehrungen zwangsläufig ständig ein ruhig stehendes Bild ergibt. Eventuelle Gleichlauffehler von Tandemlautstärkereglern werden bei deren probeweisem Verstellen sofort an veränderter Neigung des Striches (bzw. der Ellipse) sichtbar, der

sich dabei nur verkürzen oder verlängern, jedoch seinen Neigungswinkel nicht auffällig ändern darf. Gleichlauffehler oder Einzelteiltoleranzen in Klangregelschaltungen machen sich beim Verstellen des Klangreglers als Phasenfehler, das heißt Ausweitung des Striches zu einer Ellipse, bemerkbar. Besonders an den Frequenzgrenzen wird sich diese Erscheinung auch bei sorgfältigstem Aufbau nie restlos beseitigen lassen, sie muß aber so gering als möglich gehalten werden. Ein Stereoverstärker, bei dem im mittleren Frequenzbereich oder gar bei einzelnen diskreten Frequenzen deutliche Phasenfehler auftreten, ist nur bedingt brauchbar, unter Umständen sogar völlig unverwendbar, selbst wenn er im Monobetrieb gehörmäßig ausgezeichnet klingt.

Bild 49 gibt zur Veranschaulichung einige derartige vom Bildschirm des Oszillografen fotografierte Phasenfehlerbilder wieder. In Bild 49 a ist die Ellipse fast zum Kreis geworden, was einem Phasenunterschied zwischen beiden Kanälen von annähernd 90° entspricht. Ein derartiger Phasenfehler macht jeden Stereoeindruck zunichte. Einem Phasenfehler von knapp 30° entspricht Bild 49 b. Auch derartige Phasenfehler sind noch unzulässig hoch und allenfalls an den Frequenzbandgrenzen bei etwa 50 Hz beziehungsweise 12 bis 14 kHz vertretbar, wenn gleichzeitig die Klangregler betätigt werden. Bild 49 c zeigt das Fehlen einer der beiden Ausgangsspannungen, da der Strich hier waagerecht liegt. Man darf sich in solchen Fällen nicht täuschen lassen, wenn der Strich dann trotzdem noch leichte Andeutung einer schmalen Ellipsenform zeigt (in Bild 49 c nur andeutungsweise erkennbar), die bei fehlender Eingangsspannung von der aus dem anderen Kanal übersprechenden Spannung hervorgerufen werden kann. Bild 49 d zeigt endlich eine sehr schlanke Ellipse, die einen für durchschnittliche Stereoanlagen noch vertretbaren Phasenfehler angibt. Erreicht der Amateur auch an den Frequenzbandgrenzen sowie in allen Stellungen der vorhandenen Klangregler diese Ellipsenform, so ist das Ergebnis durchaus zufriedenstellend und die Übertragungsqualität für Amateurzwecke völlig ausreichend. Jedoch zeigt Bild 49 d noch



a b



c d

Bild 49 Einige für schlechten Phasengang bei Stereoverstärkern (Phasendifferenzen zwischen beiden Kanälen) typische Oszillografen-Schirmbilder. Erklärung im Text

zwei andere Fehlererscheinungen: Erstens sind die Kanalverstärkungen ungleich, da die Ellipsenneigung weit weniger als 45° beträgt (Achtung! Oszillografen-Eingangsregler kontrollieren!), zweitens ist die Ellipse gegenüber der „vorschriftsmäßigen" Lage um 90° gedreht und weist von rechts unten nach links oben. Es muß daher einer der Ausgangsanschlüsse umgepolt werden, um ein gleichphasiges Arbeiten der beiden Kanal-Lautsprecher zu erreichen.
Für den Anschluß der Lautsprecher empfehlen sich unverwechselbare Kupplungen, eventuell Diodenbuch-

sen, um versehentliche Falschpolungen zu vermeiden. Die Phasengleichheit beider Kanäle kann von der Quelle bis zum Lautsprecherausgang an Hand der Kennzeichnungen der Anschlüsse festgestellt und kontrolliert werden. Bei Mikrofonen aus industrieller Fertigung kann man praktisch immer voraussetzen, daß gleichliegende Anschlüsse beider Exemplare auch gleiche Pole bedeuten. Dasselbe gilt für die Lautsprecher. Verbindungsleitungen können ausgeprüft oder gekennzeichnet werden. Damit entfällt von vornherein die nachträgliche Ermittlung der für gleichphasige Schallabstrahlung erforderlichen Polungen. Auf die Aufzählung der verschiedenen hierfür empfohlenen Prüfmöglichkeiten wird daher bewußt verzichtet, da sie sämtlich die Möglichkeit von Irrtümern nicht ausschließen. Lediglich beim Anschluß der Ausgangsübertrager können mitunter Zweifel auftreten. Dies wird dann bei der ohnehin dringend anzuratenden oszillografischen Phasengangkontrolle an Hand der Lage der Ellipse überprüft und gegebenenfalls korrigiert. Es bleibt dann nur noch die Prüfung der richtigen Kanal-Zuordnung für den Links- und Rechtskanal. Bei eigenen Aufnahmen ist konsequent auf seitenrichtigen Anschluß der Mikrofone zu achten. Der Praktiker benutzt hierfür einen kleinen Kniff: Vor Beginn jeder Aufnahme wird an einem der beiden Mikrofone – beispielsweise rechts (auf diese „Erkennungsseite“ legt man sich dann für alle Zeiten fest), ein kurzes Geräusch erzeugt (Händeklatschen o. ä.). Da dessen Seitenlage bekannt ist, kann hiernach entweder schon bei der Aufnahmevorbereitung im Kopfhörer oder spätestens beim Abhören einer Probeaufnahme die richtige Seitenzuordnung der Mikrofone festgestellt werden, wobei natürlich vorausgesetzt wird, daß auf der Wiedergabeseite alle Steckverbindungen gekennzeichnet beziehungsweise mit unverwechselbaren Steckern versehen sind. Auch beim Anschluß von Plattenspielern mit genormten Steckern gibt es demzufolge keine Schwierigkeiten. Im übrigen gibt es Testschallplatten für die Durchführung derartiger Seitenbestimmungen, für die Einstellung der Balance (akustische Mitte) und die Prüfung des gleichphasigen Arbeitens beider Lautsprecher. Aus den genannten Gründen wer-

den diese Hilfsmittel aber vom sorgfältig und überlegt arbeitenden Amateur selten benötigt.
Mit diesen Hinweisen soll das Büchlein schließen. Es wurde versucht, in diesem Heft aus der Fülle der zum Thema Stereofonie gehörenden Einzelheiten die Dinge auszuwählen und zusammenzufassen, die für den Amateur von Interesse sind, über die er aber an anderen Stellen wenig findet. Zugunsten derartiger Einzelheiten mußten naturgemäß manche andere Dinge, über die in der einschlägigen Literatur häufiger berichtet wird, fortgelassen werden. Für diejenigen Leser, die sich tiefer in die theoretischen Grundlagen der Stereofonie einarbeiten wollen, soll das folgende kurze Literaturverzeichnis als Wegweiser dienen. In fast allen hier genannten Quellen sind wiederum sehr zahlreiche weitere Literaturangaben zu finden, auf die hier nur pauschal hingewiesen werden kann.

Literaturverzeichnis

Aschinger, Eine Stereo-Anlage für hohe Ansprüche mit Transistoren, Funktechnik H. 24/1960, 3/1961

Bertram, Stereo-Mikrofon-Aufnahmen, Funktechnik H. 20/1959

Bertram/Petzoldt, Stereo-Richtungsmischer, Funktechnik H. 13/1959

Bertram, Kompatible Stereofonie, Zeitschrift „radio mentor“ H. 9/1958

Buttenberg, Wege zum echten Klangerlebnis, „radio und fernsehen“ H. 9/1958

Sachs, Stereo-Übertragungseinrichtung, „radio und fernsehen“ H. 10/1960

Grotelüschen, Rundfunkübertragungsverfahren für Stereofonie, „radio und fernsehen“ H. 16 bis 18/1961

Jakubaschk/Kitte, Stereo-Bandgerät für den Amateur (Bauanleitung), „radio und fernsehen“ H. 15 bis 17/1961

Jakubaschk/Kitte, Stereo-Verstärker mit Studioqualität (Bauanleitung), „radio und fernsehen“ H. 16 bis 17/1962

Jakubaschk, Grundlagen der Stereofonie, Zeitschrift „funkamateur“ H. 3 bis 5/1961

sowie die in der Einleitung genannten Hefte der Broschürenreihe „Der praktische Funkamateur“

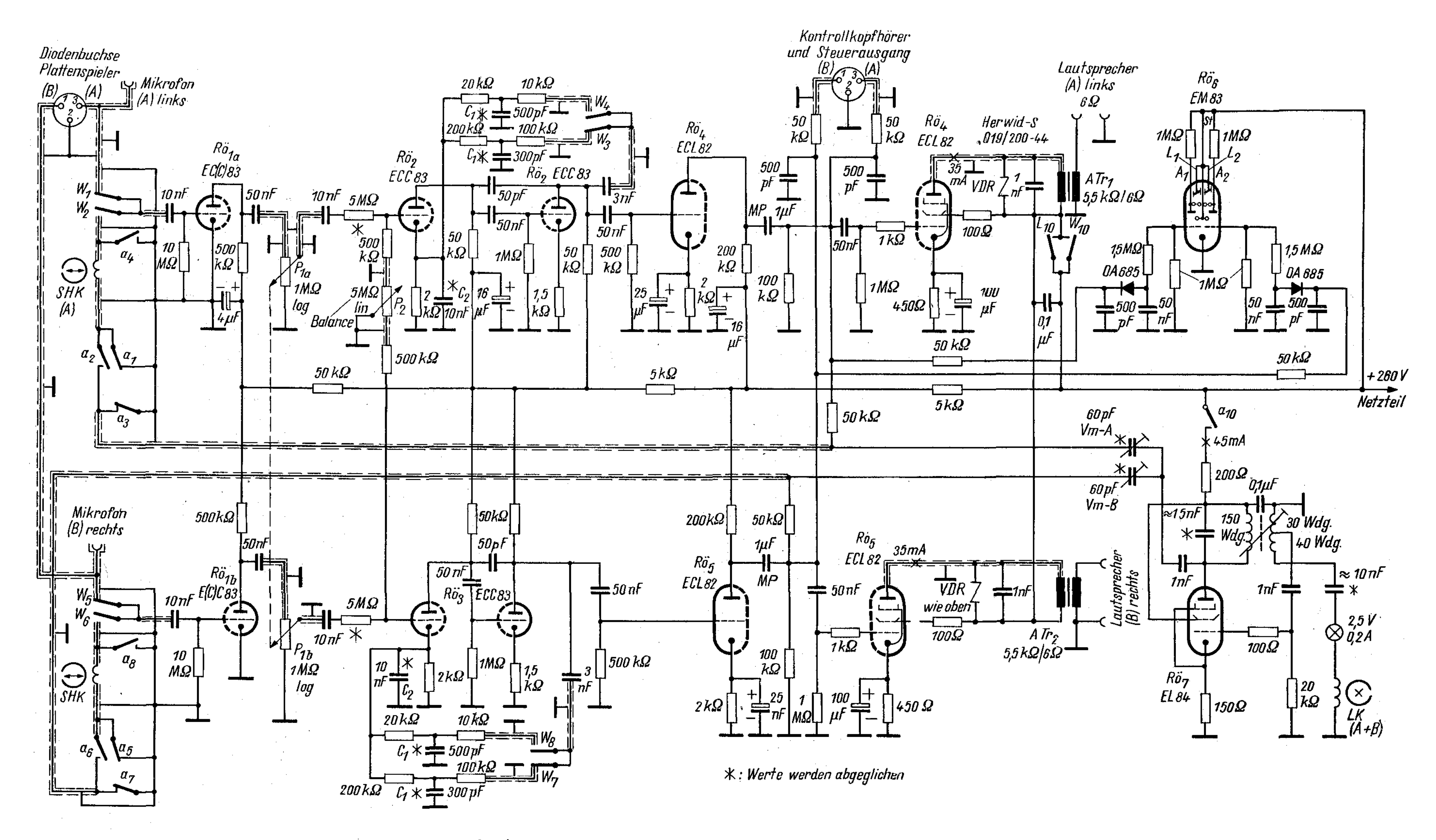


Bild 32 Schaltung der Verstärkereinheiten des Stereo-Bandgeräts

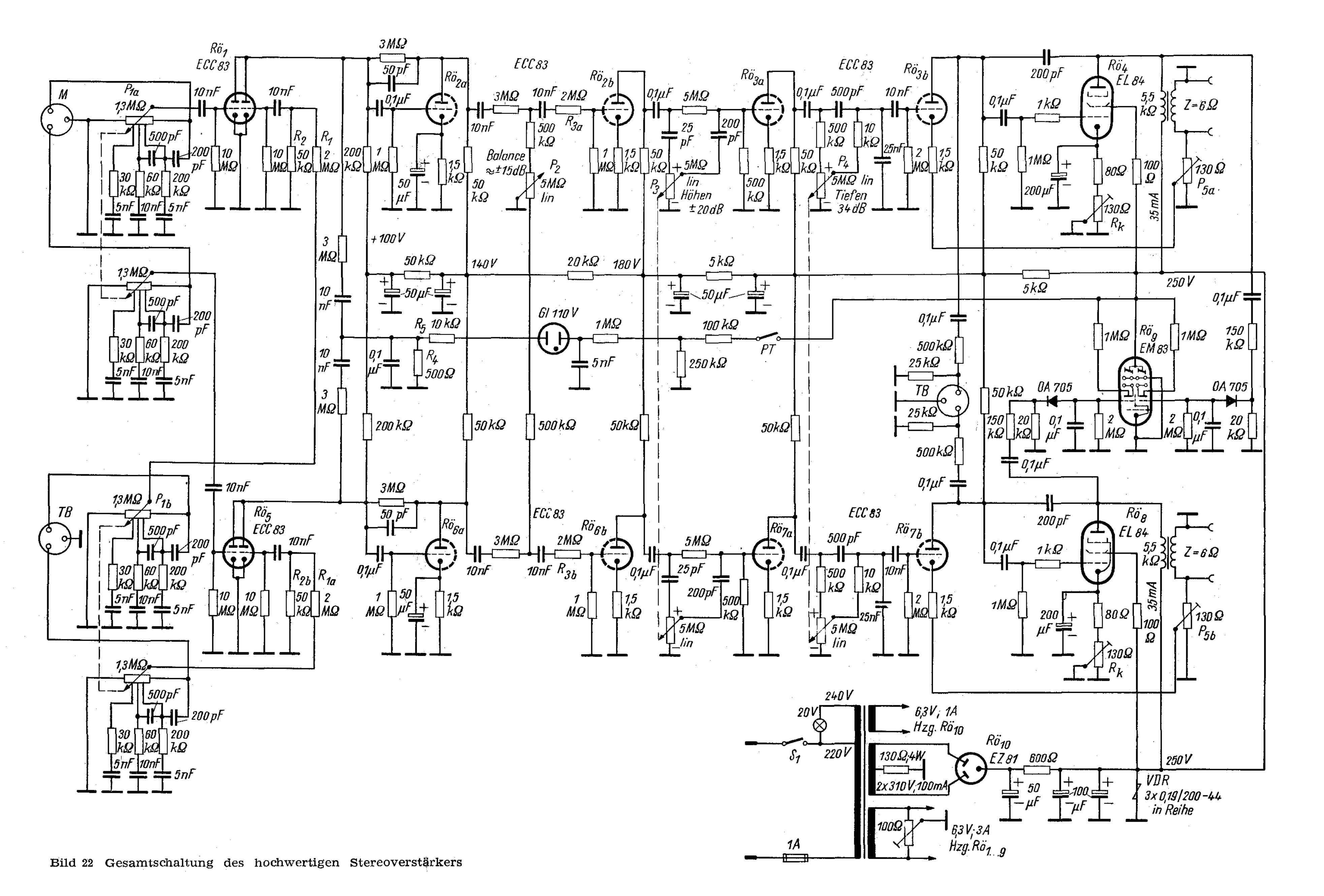
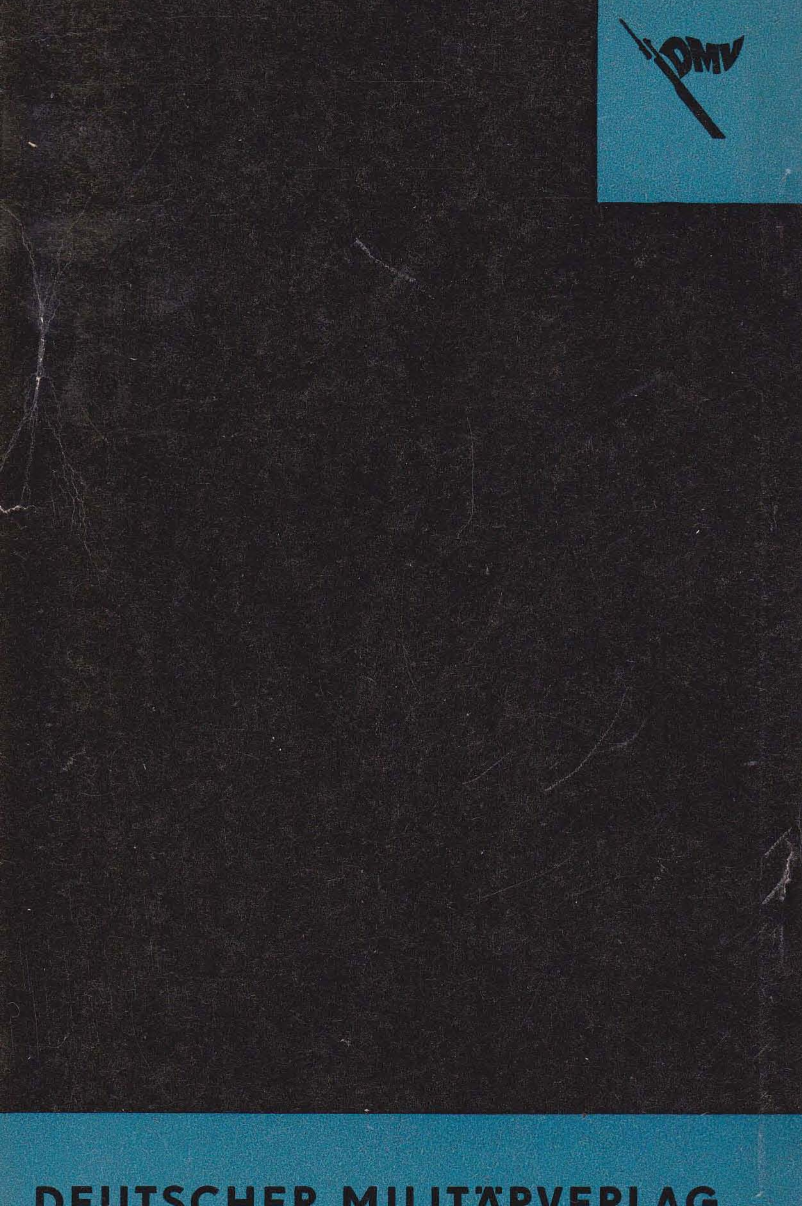


Bild 22 Gesamtschaltung des hochwertigen Stereoverstärkers



DEUTSCHER MILITÄRVERLAG